

Armoni Araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme

Ali Haydar KAYHAN*

ÖZ

Bu çalışmada zaman tanım alanında analiz için kullanılacak gerçek ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi amacıyla, sezgisel armoni araştırması optimizasyon tekniğine dayanan bir çözüm algoritması uygulanmıştır. Uygulanan çözüm algoritması ile Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te farklı zemin sınıfları için tanımlanmış elastik tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde, seçilen ve zaman tanım alanında ölçeklendirilen ivme kayıtlarından oluşan ivme kaydı setleri oluşturulmuştur. Öncelikle geleneksel yaklaşım uygulanmış ve deprem büyüklüğü, faya olan mesafe ve zemin sınıfı dikkate alınarak PEER (Pacific Earthquake Engineering Center) Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı'ndan alınan 199 ivme kaydından oluşan ivme kaydı grubu oluşturulmuştur. İvme kaydı setleri için seçim ve ölçeklendirme bu ivme kayıtları arasından yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, gerekli kısıtlar sağlanacak şekilde ivme kaydı setleri oluşturulabildiğini göstermiştir. Sonuç olarak, gerçek ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi için, armoni araştırması optimizasyon tekniğinin gerçek ivme kayıtlarının seçim ve ölçeklendirilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: İvme kaydı seçimi, armoni araştırması, zaman tanım alanında analiz.

ABSTRACT

Selection and Scaling of Ground Motion Records Using Harmony Search

In this study, a solution algorithm which is based on meta-heuristic harmony search algorithm is used for selecting and scaling ground motion records for the use in time history analysis. By means of the applied algorithm, ground motion record sets are obtained by selecting and time-domain scaling of real records complying with the elastic design spectrums defined in The Turkish Earthquake Code for different soil types. Firstly, the traditional approach is utilized and ground motion record sets are generated by selecting 199 ground motion records from PEER (Pacific Earthquake Engineering Center) Strong Motion Database considering the magnitude, distance and ground conditions. Selecting and scaling of ground motion record sets are performed by using these records. The results indicate that, various ground motion record sets can be obtained which are compatible with

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 03.03.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli - hkayhan@pau.edu.tr

the requisite constraints by using harmony search algorithm. In conclusion, it is seen that harmony search algorithm can be used as an effective method for selecting and scaling real ground motions.

Keywords: Ground motion selection, harmony search algorithm, time history analysis.

1. GİRİŐ

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesi ya da tasarımı amacıyla, zaman tanım alanında doğrusal ya da doğrusal olmayan analiz için kullanılan ivme kayıtları, analiz sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple analiz için uygun ivme kayıtlarının seçilmesi önemlidir. Genellikle analiz için kullanılacak ivme kayıtları üç farklı şekilde elde edilmektedir: (1) tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde yapay olarak, (2) sismik kaynak ve dalga yayılımı özellikleri dikkate alınarak benzetim yolu ile ve (3) gerçek depremlerden [1–3].

Yapay olarak elde edilen kayıtları kullanmadaki temel zorluk, çok sayıda deprem hareketinin ortalamasını simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir kayıt elde etmeye çalışılmasıdır. Ayrıca yapay kayıtlarda çevrim sayısının gerçek ivme kayıtlarına oranla çok fazla olması dolayısıyla, kaydın enerji içeriği gerçeğe aykırı olacak derecede büyük olmaktadır [2]. Benzetim yolu ile elde edilen kayıtlar için, deprem dalgalarının yayılım ortamı ve zemin özellikleri dikkate alınarak tanımlanan sismolojik kaynak modelleri kullanılmaktadır. İvme kaydı, sismolojik modeller için kullanılacak kaynak, yayılım ortamı ve zemin özellikleri ile doğrudan ilişkilidir ve özellikle tasarım yönetmeliklerinin kullanıldığı durumlarda bu bilgiler çoğunlukla mevcut değildir [2,4]. Gerçek ivme kayıtları, yer sarsıntısının doğası ve genlik, süre, faz ve frekans içeriği gibi özellikleri hakkında daha sağlıklı bilgiler içerir. Bunun yanı sıra, kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin gibi faktörleri de yansıtır. Bu sebeple, gerçek deprem kayıtlarının kullanılması diğer seçeneklere göre daha büyük üstünlük sağlar [2,4].

Depremlerden elde edilen çok sayıda gerçek ivme kaydının yer aldığı veri tabanlarının kolay ulaşılabilir hale gelmesi, analiz için gerçek ivme kayıtlarının daha fazla tercih edilmesine sebep olmaktadır. Veri tabanlarında yer alan kayıtların elde edildiği depremlerin büyüklüğü, fay tipi ve ivme kayıtlarının elde edildiği kayıt istasyonlarının yerel zemin özellikleri, deprem kaynağından uzaklıkları, kaydın spektral içeriği gibi özellikler büyük değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla, belirli bir bölgedeki deprem tehlikesini temsil edecek şekilde ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi önemlidir. İvme kayıtlarının etkin ve uygun bir şekilde seçilmesi deprem mühendisliğinin önemli çalışma konuları arasındadır. Modern deprem yönetmeliklerinde, dikkate alınan periyot aralığında bölgesel tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi ile ilgili tanımlamalar yer almaktadır [5,6].

Seçilen ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesi amacıyla frekans tanım alanında veya zaman tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılabilir. Frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde ivme kaydının frekans içeriği değiştirilmektedir [7,8]. Bu durumda ivme kaydının doğal özellikleri bozulduğundan, analiz sonucunda beklenmedik sonuçlarla karşılaşılmaması için dikkatli kullanılmalıdır. Zaman tanım alanında ölçekleme yönteminde

ise kaydın sadece genliği değiştirilmektedir [4,9,10,11]. Bu yöntem kullanılırken, ölçekleme katsayılarının uygun şekilde seçilmesine özen gösterilmelidir.

İvme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi, tasarım spektrumu ile seçilen ivme kayıtlarına ait ivme spektrumları arasındaki farkın en aza indirilmesi şeklinde optimizasyon problemi olarak dikkate alınıp çözülebilmektedir [4,9,11]. İvme kayıtlarının taşınması gereken özellikler, yönetmeliklerde yer alan kriterler de dikkate alınarak kısıtlı optimizasyon problemi olarak ifade edilebilmektedir. Kısıtlı ya da kısıtsız optimizasyon problemlerinin bir çoğu, konveks olmayan yapısından dolayı birden fazla yerel optimum çözüm içermekte ve geleneksel doğrusal olmayan programlama teknikleri ile çözümün elde edilmesi zorlaşabilmektedir. Bu nedenle, analitik olarak çözümü elde edilemeyen ve/veya konveks olmayan yapıdaki problemlerin çözümünde sezgisel optimizasyon tekniklerinin kullanılması yaygınlık kazanmıştır. Sezgisel optimizasyon tekniklerine literatürde yaygın olarak kullanılan genetik algoritma [12], tavlama benzetimi [13], karınca kolonisi [14] ve tabu araştırması [15] örnek olarak verilebilir.

Son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanılan sezgisel optimizasyon tekniklerinden biri de armoni araştırması (harmony search) optimizasyon tekniğidir [16]. Bu teknik, bir orkestradaki müzisyenlerin estetik açıdan iyi bir melodiyi, birbirleri ile uyumlu bir şekilde çalmaları ile elde edebileceği prensibine dayanmaktadır. Diğer sezgisel optimizasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında armoni araştırması optimizasyon tekniğinin en büyük avantajlarından birisi programlanmasının kolay olmasıdır [17]. Armoni araştırması tekniği kullanılarak yapıların optimum tasarımından, ulaşım enerji modellemesine ve su dağıtım şebekelerinin tasarımına, farklı alanlarda pek çok çalışma yapılmıştır [18-23].

Bu çalışmada armoni araştırması optimizasyon tekniği kullanılarak Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY) tanımlanmış olan elastik tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde ivme kayıtları seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. Birinci aşamada PEER (Pasifik Deprem Araştırmaları Merkezi) [24] ivme kaydı veri tabanından deprem büyüklüğü, faya olan mesafe ve zemin sınıfı dikkate alınarak 199 ivme kaydı seçilmiştir. İkinci aşamada, her bir zemin sınıfı için, 199 ivme kaydı içerisinden seçilip ölçeklendirilen ivme kayıtlarından oluşan ivme kaydı setleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, armoni araştırması optimizasyon tekniği kullanılarak tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde ivme kaydı setleri oluşturulabileceğini göstermiştir.

2. TASARIM İVME SPEKTRUMU VE İVME KAYDI SEÇİMİNDE KULLANILAN KRİTERLER

2.1. Tasarım İvme Spektrumu

DBYBHY'e göre herhangi bir deprem bölgesinde ve herhangi bir zemin üzerine yapılacak bir binanın tasarımı için kullanılacak tasarım depremi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremdir. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na [25] göre, Türkiye dört farklı deprem bölgesine ayrılmıştır. Buna göre birinci derece deprem bölgesinde etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.4$ alınırken ikinci, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde sırası ile 0.3, 0.2 ve 0.1 değerleri kullanılmaktadır. DBYBHY'te yerel zemin sınıflarına bağlı olarak tanımlanmış olan %5 sönüm oranına sahip spektrum katsayısı $S(T)$ 'nin, bölgenin depremselliğini ifade eden A_0 ve bina kullanım amacına bağlı olarak 1.0 ile 1.5 arasında

Armoni Araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme

değişen bina önem katsayısı I ile çarpılması sonucunda, tasarım için kullanılan spektral ivme katsayısı $A(T)$ elde edilmektedir (Denklem 1). $A(T)$ 'nin yerçekimi ivmesi g ile çarpımıyla da elastik spektral ivme hesaplanmaktadır. DBYBHY'e göre $A(T)$ 'nin değişimi, yerel zemin sınıflarına bağlı karakteristik periyotlar T_A ve T_B (Tablo 1) ile bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak Denklem 2'de verilmiştir [6].

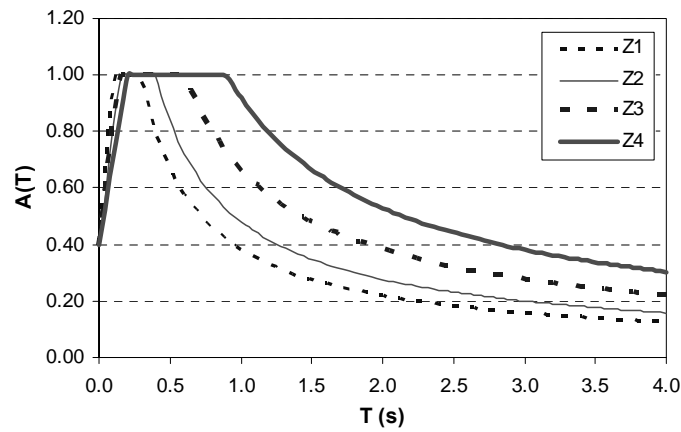
$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (1)$$

$$A(T) = \begin{cases} (A_0 I) \left(1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \right) & 0 \leq T \leq T_B \\ (A_0 I) 2.5 & T_A \leq T \leq T_B \\ (A_0 I) 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & T \geq T_B \end{cases} \quad (2)$$

Tablo 1: Zemin spektrum karakteristik periyotları

Zemin Sınıfı	T_A (s)	T_B (s)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Şekil 1'de DBYBHY'e göre, birinci derece deprem bölgesinde yer alan ve bina önem katsayısı $I=1.0$ olan bir bina için kullanılacak elastik spektral ivme katsayısı $A(T)$ 'nin, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 1: DBYBHY'te zemin sınıfları için tanımlanmış elastik spektral ivme ($A_0=0.4$ ve $I=1$)

2.2. İvme Kayıtlarının Seçimi İçin DBYBHY’te Tanımlanan Kriterler

DBYBHY Madde 2.9’a göre “Bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için” daha önce kaydedilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir. Ancak seçilen ivme kayıtlarının Madde 2.9.1’de belirtilen ve aşağıda verilen koşulları sağlaması gerekmektedir:

- Kuvvetli yer hareketinin süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Kullanılacak olan deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g ’den daha küçük olmayacaktır.
- Kullanılacak her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci periyodu T ’ye göre $0.2T$ ile $2.0T$ aralığında, DBYBHY’te tanımlanmış olan elastik spektral ivmelerinin %90’ından daha az olmayacaktır.
- Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda analiz sonuçlarının maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise analiz sonuçlarının ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

2.3. İvme Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi İçin Kullanılan İlave Kriterler

DBYBHY’te ivme kayıtları ile ilgili olarak yukarıda maddeler halinde sıralanan kriterler dışında herhangi bir kriter yer almamaktadır. Veri tabanlarında yer alan kayıtların elde edildiği depremlerin büyüklüğü, fay tipi ve ivme kayıtlarının elde edildiği kayıt istasyonlarının yerel zemin özellikleri, deprem kaynağından uzaklıkları, kaydın spektral içeriği gibi özellikler büyük değişkenlik göstermektedir. Zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilecek sismik talep de depremin ve ivme kaydının bahsedilen özelliklerinden dolayı değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla, ivme kayıtlarının tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde seçilmesi ve ölçeklendirilmesi işlemleri esnasında, depremin büyüklüğü, kayıt istasyonlarının faya olan mesafesi, kayıt istasyonlarının bulunduğu bölgenin yerel zemin koşulları ya da zaman tanım alanında ölçekleme için kullanılacak katsayı ile ilgili ilave kriterler de bu çalışmada dikkate alınmıştır.

PEER veri tabanında bulunan ivme kayıtları içerisinde seçilen 199 ivme kaydının aşağıdaki koşulları sağlaması öngörülmüştür:

- İvme kayıtlarının kaydedildiği depremin büyüklüğü $M > 5.5$ seçilmiştir.
- Depremlerin kaydedildiği istasyonların faya olan mesafesi 8-50km arasındadır.
- Depremin kaydedildiği istasyonların bulunduğu bölgenin yerel zemin sınıfı NEHRP’e (Ulusal Deprem Riskini Azaltma Programı) göre C ve D olarak (DBYBHY’te tanımlanmış Z3 ve Z4 sınıfı zemin ile uyum göstermektedir) seçilmiştir. Veri tabanında A, B ve E sınıfı zeminlerde kaydedilen kayıtlar sayı olarak yetersiz olduğundan böyle bir seçim kriteri kullanılmıştır.
- İvme kaydının maksimum yer ivmesi en az 0.10g alınmıştır.

- DBYBHY’te belirtilen, ivme kayıtlarının süresine ilişkin kriterin dikkate alınabilmesi için, anlamlı süreleri (significant duration) [4,26] 15 saniyenin üzerinde olan kayıtlar seçilmiştir.

DBYBHY’e göre, zaman tanım alanında analiz için en az yedi ivme kaydı kullanılması durumunda, analiz sonuçlarının ortalaması kullanılabilir. Bu çalışmada, hedef spektrumları ile uyumlu olacak şekilde 10’ar ve 15’er ivme kaydından oluşan setler oluşturulmuştur. Setler oluşturulurken aşağıda belirtilen ilave kriterler dikkate alınmıştır.

- İvme kaydı seti oluşturulurken aynı ivme kaydının set içerisinde birden fazla yer almasına izin verilmemiştir.
- DBYBHY’te, seçilen ve ölçeklendirilen ivme kayıtlarının spektral ivme değerlerinin ortalaması ile ilgili olarak bir alt sınır tanımlanmış ancak bir üst sınır tanımlanmamıştır. Bu çalışmada, hedef spektrum ile uyumun daha da artırılması için, binanın göz önüne alınan doğrultudaki birinci periyodu T ’ye göre $0.2T$ ile $2.0T$ aralığında, hedef spektrum ile elde edilen ortalama spektrum arasındaki oranın $0.90-1.10$ arasında olması sağlanmıştır.
- Zaman tanım alanında ölçeklendirme için ölçeklendirme katsayısı k ’nın üst sınırının $2.00-4.00$ aralığında olması önerilmektedir [2]. Ölçeklendirme katsayısı 10 ’ar adet ivme kaydından oluşan setler için 0.50 ile 2.00 arasında, 15 ’er adet ivme kaydından oluşan setler için 0.25 ile 4.00 arasında seçilmiştir.

3. PROBLEM FORMÜLASYONU

Bu çalışmada, ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirilmesi problemi, Denklem 3 ile verilen amaç fonksiyonunun minimize edilmesi şeklinde ifade edilmiştir.

$$F(\mathbf{x}) = f_1(\mathbf{x}) + g_1(\mathbf{x}) + g_2(\mathbf{x}) + g_3(\mathbf{x}) \quad (3)$$

Denklem 3’te \mathbf{x} , seçilen ivme kayıtlarının numarasının ve bu kayıtlara uygulanacak ölçeklendirme katsayılarının, yani optimizasyon probleminin karar değişkenlerinin saklandığı vektördür. \mathbf{x} vektörünün boyutu set içindeki ivme kaydı sayısına bağlıdır. Örneğin 10 ivme kaydına sahip ivme seti için \mathbf{x} vektörü 20 karar değişkeninden (10 ivme kaydı ve 10 ölçeklendirme katsayısı) oluşmaktadır. $f_1(\mathbf{x})$, hedef spektrum $A(T)$ ile seçilen ve ölçeklendirilen ivme kayıtlarından elde edilen ortalama spektrum $E(T)$ arasındaki farkların karelerinin toplamını ifade etmektedir. $g_1(\mathbf{x})$, $g_2(\mathbf{x})$ ve $g_3(\mathbf{x})$ ise dikkate alınan kriterlerin optimizasyon sürecinde ele alınabilmesi için kullanılan penaltı fonksiyonlarıdır.

$f_1(\mathbf{x})$, bina periyodunun $0.20s$ ile $2.00s$ arasında değişebileceği kabulü ile periyodun $0.04s$ ile $4.00s$ aralığında, ayırık veriler için geçerli olmak üzere $E(T)$ ile $A(T)$ arasındaki hataların en küçükleme olarak tanımlanmıştır (Denklem 4). $\Delta T=0.02s$ alınmış ve aralıklar arasında $E(T)$ ’nin doğrusal değiştiği kabul edilmiştir. Denklem 4’te m , ΔT ’ye bağlı olarak belirlenmiş adım sayısıdır.

$$f_1(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^m (E(T_i) - A(T_i))^2, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad 0.04s \leq T_i \leq 4.00s \quad (4)$$

$E(T)$, ivme kaydı seti içinde yer alan ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarına ait %5 sönümlü ivme spektrumlarının ortalaması olarak hesaplanmaktadır (Denklem 5). Denklem 5'te $SA_i(T)$, her bir ivme kaydı için hesaplanmış %5 sönümlü ivme spektrumunu ifade etmektedir ve SeismoSignal programı kullanılarak elde edilmiştir [27]. k_i her bir ivme kaydı için kullanılan ölçekleme katsayısını, n ise ivme seti içerisindeki kayıt sayısını ifade etmektedir.

$$E(T) = \frac{\sum_{i=1}^n k_i SA_i(T)}{n} \quad 0.00s \leq T \leq 4.00s \quad (5)$$

Optimizasyon problemlerinin pek çoğunda eşitlik veya eşitsizlik formunda ifade edilen kısıtlar bulunmaktadır. Sezgisel algoritmalarda, kısıtların optimizasyon problemlerinde dikkate alınması için kullanılan yaklaşımlardan birisi penaltı fonksiyonu yaklaşımıdır ve optimizasyon problemlerinde kullanılacak penaltı fonksiyonları genellikle çözülen probleme bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [28]. Bu çalışmada, kullanılan penaltı değerleri önceden yapılan analizler sonucu amaç fonksiyonunun aldığı değerlerin (1.0'den düşük) mertebesine bağlı olarak belirlenmiştir.

$E(T)$ 'nin $T=0$ için $A(T)$ 'den küçük olmaması, DBYBHY'te öngörülen bir kriterdir. Bu kriterin dikkate alınabilmesi için Denklem 6 ile verilen penaltı fonksiyonu kullanılmıştır.

$$g_1(\mathbf{x}) = \begin{cases} 0, & E(0) \geq A(0) \text{ ise} \\ 1, & E(0) < A(0) \text{ ise} \end{cases} \quad (6)$$

Periyodun 0.04s-4.00s aralığında $E(T)/A(T)$ oranının en az 0.90 olması DBYBHY'te yer alan bir diğer kriterdir. Bu kritere ilave olarak bu çalışmada $E(T)/A(T)$ oranının en fazla 1.10 olması istenmiştir. Bu kriterlerin dikkate alınabilmesi için Denklem 7 ile verilen penaltı fonksiyonu kullanılmıştır. Dikkate alınan periyot aralığında $E(T)/A(T)$ ifadesinin maksimum değeri 1.10 değerini geçerse ya da minimum değeri 0.90 değerinin altına düşerse, bu sınırlardan ne kadar uzaklaşıldığına bağlı olarak penaltı değeri kullanılmaktadır.

$$g_2(\mathbf{x}) = \begin{cases} \text{maks}(E(T)/A(T)) - 1.10, & \text{maks}(E(T)/A(T)) > 1.10 \text{ ise} \\ 0.90 - \text{min}(E(T)/A(T)), & \text{min}(E(T)/A(T)) < 0.90 \text{ ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (7)$$

Herhangi bir ivme kaydı seti içerisinde aynı ivme kaydının sadece bir kez yer alması istenmektedir. Bu kriter de Denklem 8'de tanımlanmış penaltı değeri ile dikkate alınmıştır.

$$g_3(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1, & \text{Set içerisinde aynı ivme kaydı birden fazla seçilmiş ise} \\ 0, & \text{Set içerisinde birden fazla seçilmiş ivme kaydı yok ise} \end{cases} \quad (8)$$

$f_1(\mathbf{x})$, $g_1(\mathbf{x})$ ve $g_2(\mathbf{x})$ ifadelerinin hesaplanmasında, seçilen ivme kayıtlarına ait ivme spektrumları dikkate alınmaktadır. Eğer herhangi bir ivme kaydı setinde, hangi ivme kayıtlarının hangi ölçekleme katsayısı ile çarpılmış halinin kullanılacağı bilinirse, bu ivme spektrumlarına ait hesaplamalar T^* 'ye bağlı olarak yapılabilecektir. Öte yandan, ivme seti içerisinde hangi ivmelerin hangi ölçekleme katsayısı ile yer aldığı da \mathbf{x} vektöründe saklanmaktadır. Bütün bunlar dikkate alınarak yazılan ifadelerde sol taraf ivme kaydı setinde yer alan ivme kayıtlarını ve ölçekleme katsayılarını temsil ederken, sağ taraf ise o ivme kaydı seti için T^* 'ye bağlı olarak yapılan hesaplamaları ifade etmektedir.

4. ARMONİ ARAŞTIRMASI OPTİMİZASYON TEKNİĞİ

Geem ve diğ. [16] tarafından geliştirilen sezgisel armoni araştırması optimizasyon tekniği, bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır. Optimizasyon modellerinde ise en iyi çözüm ancak amaç fonksiyonunun global optimumuna giderek yaklaşması sonucu elde edilebilmektedir. Armoni araştırması yönteminde karar değişkenleri için özel bir başlangıç çözümü tanımlanmasına gerek yoktur. Ayrıca birden çok çözümle optimizasyon işlemine devam ettiği için birden çok yönde global optimum çözümü araması ve bu sayede lokal optimum çözümlerden kurtulabilmesi yöntemin avantajlarından birisidir. Yöntem hem sürekli değişkenler hem de ayrık değişkenler için kullanılabilir. Bir optimizasyon probleminin armoni araştırması tekniği ile çözümü beş adımda yapılmaktadır [16]:

Adım 1: Problemin kurulması ve çözüm parametrelerinin ilk değerlerinin ayarlanması

Bu adımda optimizasyon problemi Denklem 3 ile verilen $F(\mathbf{x})$ fonksiyonunun minimize edilmesi olarak tanımlanmaktadır:

$$\text{minimum } F(\mathbf{x}) \quad x_i \in [x_{i,\min} \dots x_{i,\max}] \quad i = 1, 2, 3, \dots, N$$

$\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ vektörü, x_i karar değişkenleri setini, N toplam karar değişkeni sayısını, T transpoze operatörünü, $x_{i,\min}$ ve $x_{i,\max}$ ise karar değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını göstermektedir. Armoni araştırması tekniğinde çözüm sürecini kontrol eden parametreler: armoni belleği kapasitesi (HMS), armoni belleğini dikkate alma oranı ($HMCR$), ton ayarlama oranı (PAR) ve maksimum iterasyon sayısı bu adımda tanımlanmaktadır.

Adım 2: Armoni belleğinin oluşturulması

Bu adımda, karar değişkenleri tanımlanan çözüm uzayı içerisinde rastgele olarak (1-199 arasında ivme kayıt numaraları ve her bir ivme kaydı için ölçeklendirme katsayıları) üretilmektedir. Karar değişkenlerinin aldıkları değerler ve bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri (Denklem 3) ile armoni belleği (**HM**) doldurulmaktadır (Denklem 9).

$$\mathbf{HM} = \left[\begin{array}{cccc|c} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_{N-1}^1 & x_N^1 & F(\mathbf{x}^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_{N-1}^2 & x_N^2 & F(\mathbf{x}^2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \cdots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} & F(\mathbf{x}^{HMS-1}) \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} & F(\mathbf{x}^{HMS}) \end{array} \right] \quad (9)$$

HM matrisinin satır sayısı armoni belleği kapasitesi (HMS) ile belirlenmektedir. Yani, HMS ile iterasyonlar boyunca kaç farklı ivme kaydı setinin aynı anda armoni belleğinde saklanacağı belirlenmektedir. **HM** matrisinin sütun sayısı ise, karar değişkenleri sayısına bir eklenerek $(N+1)$ belirlenmektedir. **HM** matrisinin son sütunu amaç fonksiyonu değerinin, diğer sütunlar ise karar değişkenlerinin saklanması için kullanılmaktadır.

Adım 3: Yeni armoni oluşturulması

Bu adımda, yeni armoni sıra vektörü $\mathbf{x}' = [x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N]$, üç kurala bağlı olarak üretilmektedir: (1) armoni belleğinin kullanılması, (2) rastgele seçim ve (3) ton ayarlama.

Yeni armoni sıra vektörünün üretilmesi için armoni belleğinin kullanılması durumunda, yeni armoni sıra vektörüne ait ilk karar değişkeni **HM** içerisindeki ivme kaydı setlerine ait karar değişkenleri arasından rastgele seçilmektedir ($x'_1 \in [x_1^1 \dots x_1^{HMS}]$). Eğer rastgele seçim kullanılırsa, ilk karar değişkeni daha önceden tanımlanmış çözüm uzayı içerisinde rastgele seçilmektedir ($x'_1 \in [x_{1,\min} \dots x_{1,\max}]$). Yeni armoni sıra vektörüne ait diğer karar değişkenleri de benzer şekilde seçilmektedir. Değişkenlerin **HM** içerisinde seçilip seçilmeyeceği, değeri 0 ile 1 arasında değişen $HMCR$ olasılığına göre belirlenmektedir. $HMCR$, bir karar değişkeninin **HM** içerisinde seçilme olasılığını gösterirken, $(1-HMCR)$ ise karar değişkeninin çözüm uzayı içerisinde seçilme olasılığını ifade etmektedir (Denklem 10).

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \in [x_i^1 \dots x_i^{HMS}] & HMCR \text{ olasılığı ile} \\ x'_i \in [x_{i,\min} \dots x_{i,\max}] & (1-HMCR) \text{ olasılığı ile} \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (10)$$

HM içerisinde seçilen her bir karar değişkeni için ton ayarlama işlemine gerek olup olmadığı, PAR değişkeninin 0 ile 1 arasında değişen değeriyle kontrol edilir (Denklem 11).

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \mp Rand(0,1) \times bw & PAR \text{ olasılığı ile} \\ x'_i & (1-PAR) \text{ olasılığı ile} \end{cases} \quad (11)$$

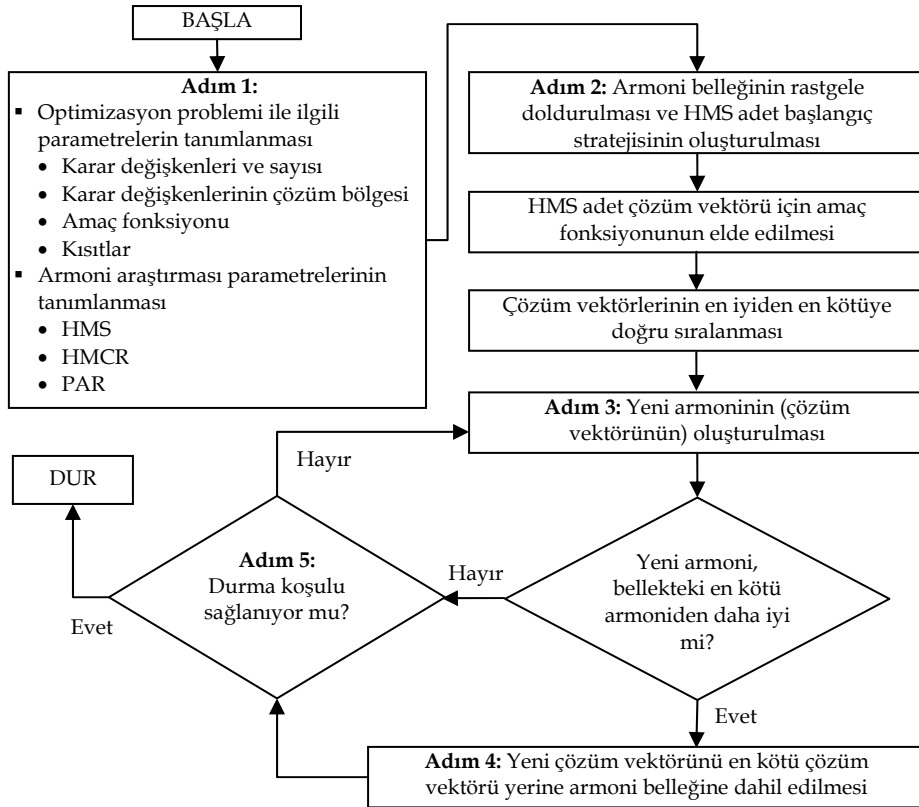
Denklem 11'de bw ton ayarlama işlemi için seçilen bant genişliğini, $Rand(0,1)$ ise 0 ile 1 arasında değişen üniform rastgele sayıyı ifade etmektedir. Karar değişkenlerinin herhangi birisine ton ayarlama işlemi uygulandığında, karar değişkeninin değerine (ivme kaydı numarası ya da ölçekleme katsayısı) Denklem 11'de ifade edilen değer ilave edilmekte ve karar değişkeninin yeni değeri elde edilmektedir.

HMCR ve PAR parametreleri algoritmanın sırasıyla global ve lokal optimum çözümleri elde etmesinde belirleyici olmaktadır. HMCR ve PAR parametreleri için sırasıyla 0.70-0.95 ve 0.20-0.50 arasındaki değerlerin ve armoni belleği kapasitesi HMS için 10-50 arasındaki değerlerin seçilmesi önerilmektedir [18].

Sonuç olarak yeni bir ivme kaydı seti bu adımda belirlenmiş olmaktadır.

Adım 4: Armoni belleğinin güncellenmesi

Bu adımda, üçüncü adımda oluşturulan ve yeni ivme kaydı setini temsil eden armoni sıra vektörü $x' = [x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N]$ ile armoni belleğindeki en kötü armoni sıra vektörü (minimizasyon problemi için en büyük amaç fonksiyonu değerine sahip sıra vektörü), amaç fonksiyonlarının değerleri bakımından karşılaştırılmaktadır. Yeni oluşturulan armoni sıra vektörü için hesaplanan amaç fonksiyonu değeri, en kötü sıra vektörü için hesaplanan amaç fonksiyonu değerinden daha küçük ise, en kötü sıra vektörü bellekten çıkarılmakta ve üçüncü adımda oluşturulan yeni armoni sıra vektörü onun yerine atanmaktadır.



Şekil 2: Optimizasyon probleminin akış şeması

Adım 5: Durma koşulunun kontrolü

Bu adımda verilen durma koşulu kontrol edilmekte ve koşul sağlanıncaya kadar, Adım 3 ve Adım 4 ile tanımlanan, yeni armoni sıra vektörünün (yeni ivme kaydı setinin) oluşturulması ve armoni belleğinin (**HM** matrisi) güncellenmesi işlemleri tekrar edilmektedir.

Armoni araştırması optimizasyon tekniğinin akış şeması Şekil 2’de verilmiştir. Gerçek ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi amacıyla hazırlanan çözüm algoritması Visual Basic [29] programlama dili kullanılarak kodlanmıştır.

5. SAYISAL UYGULAMALAR

DBYBHY’te, $A_0=0.40$ ve $I=1$ olduğunda Z1, Z2, Z3 ve Z4 sınıfı zeminler için tanımlanmış tasarım ivme spektrumlarıyla uyumlu ortalama spektruma sahip ivme kaydı setleri elde edilmiştir. Armoni araştırması yönteminin etkinliğini farklı parametre değerleri için gösterebilmek amacıyla, ivme kaydı setlerinin oluşturulması sırasında *HMS*, *HMCR* ve *PAR* parametreleri, Tablo 2’de verilen şekilde seçilmiştir. Analizler için maksimum iterasyon sayısı 100,000 olarak seçilmiştir.

Tüm hedef spektrumlar için, elde edilen ivme setlerinde yer alan ivme kayıtları, ivme kayıtlarına ait ölçekleme katsayıları, hedef spektrum ve ivme setleri için elde edilen ortalama spektrum grafikleri verilmiştir. Armoni araştırması yönteminin farklı parametre setleri için etkinliğini göstermek üzere, örnek olarak Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için ivme setlerinin oluşturulması sürecindeki yakınsama grafikleri de verilmiştir (Şekil 5 ve Şekil 7).

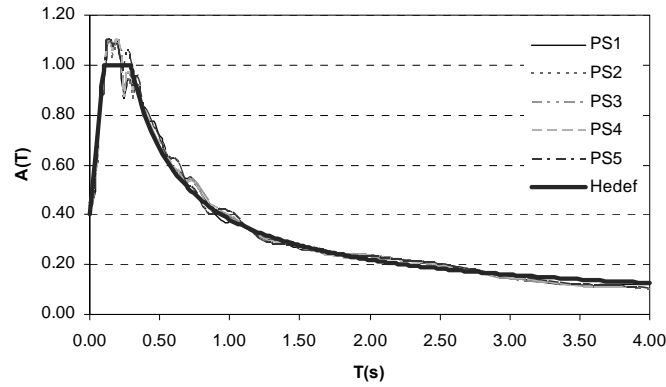
Tablo 2: İvme setleri için kullanılan çözüm parametreleri [18]

Parametre Seti	<i>HMS</i>	<i>HMCR</i>	<i>PAR</i>
PS1	20	0.90	0.45
PS2	40	0.90	0.45
PS3	30	0.90	0.40
PS4	30	0.80	0.30
PS5	30	0.90	0.30

5.1. 10 Adet İvme Kaydından Oluşan İvme Setleri

Z1 sınıfı zeminler için oluşturulan ivme setleri için, Denklem 6 ve Denklem 8 ile tanımlanan kısıtlar sağlanmış olmasına rağmen, Denklem 7 ile verilen kısıtın sağlanmadığı görülmüştür. 0.04-4.00s aralığında bazı T değerleri için $E(T)/A(T)$ oranı maksimum 1.12, minimum 0.79 olarak hesaplanmıştır. Üst sınır olan 1.10 ve alt sınır olan 0.90 değerine yakın değerler elde edilmiş olmasına rağmen, sonuç olarak kısıtlar tam olarak sağlanamamıştır. Z2, Z3 ve Z4 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setleri, bu çalışmada dikkate alınan tüm kısıtlar sağlanacak şekilde oluşturulmuştur.

Şekil 3'te Z1 sınıfı zemin için tanımlanmış hedef spektrum ile ivme setlerinden elde edilen ortalama spektrumlar verilmiştir. Tablo 3'te ise Z1 sınıfı zeminler için elde edilmiş ivme setleri içerisinde yer alan ivme kayıtları ve ölçekleme katsayıları verilmiştir. Tablo 3'te görüldüğü gibi, her bir ivme seti için farklı ivme kayıtları ve ölçekleme katsayıları elde edilmektedir. Bu durum problemin birden çok optimum çözüm içerdiğini göstermektedir. Yani hedef ivme spektrumu ile uyumlu olarak birden fazla ivme kaydı seti elde edilmesi mümkündür. İvme setlerine ait diğer tablolarda da benzer durum görülmektedir.

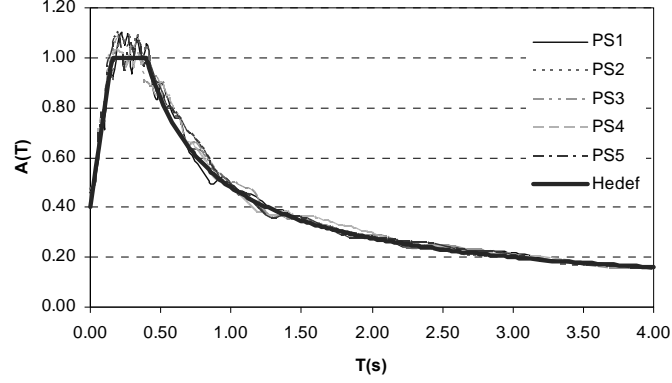


Şekil 3: Z1 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar (10 ivme kaydı)

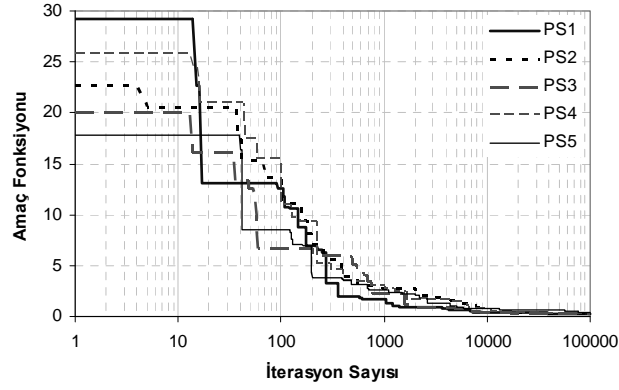
Tablo 3: Z1 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri (10 ivme kaydı)

PS1		PS2		PS3		PS4		PS5	
No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek
31	1.9015	52	1.9998	12	0.9434	30	1.0707	2	1.6680
49	1.9823	60	1.9342	49	1.9998	60	1.9174	17	1.6582
60	1.9879	65	1.8261	52	1.9776	65	1.9296	52	1.7903
61	1.6818	73	1.0622	65	1.9533	80	1.9531	56	1.9733
65	1.9529	87	1.9909	80	2.0000	93	1.1209	65	1.9978
80	1.8987	97	1.2471	97	1.6146	97	1.5800	80	2.0000
97	1.6595	98	1.6514	98	1.4619	98	1.7100	97	1.6743
98	1.6795	102	1.8127	115	1.4522	117	1.8946	98	1.6570
107	1.8848	117	2.0000	117	1.9993	121	1.9725	107	2.0000
121	1.7667	121	1.9886	121	1.7037	129	1.9993	117	1.9427

Şekil 4'te Z2 sınıfı zemin için tanımlanmış elastik tasarım ivme spektrumu ve ivme setlerine ait ortalama spektrumlar verilmiştir. Şekil 5'te ise farklı parametre setleri için iterasyon sürecindeki yakınsama grafikleri görülmektedir. İvme setlerinde yer alan ivme kayıtları ve ölçekleme katsayıları Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Z2 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar (10 ivme kaydı)

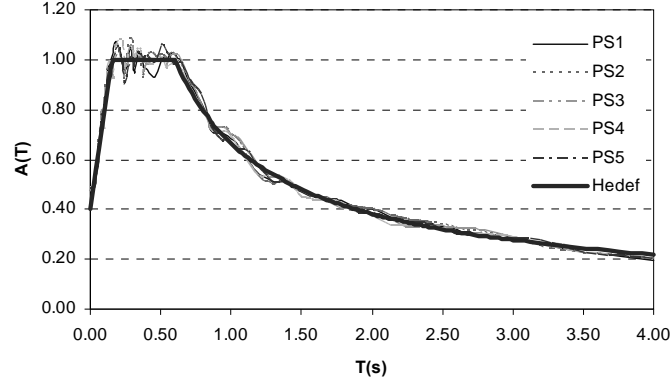


Şekil 5: Z2 sınıfı zemin için optimizasyon süreci yakınsama grafiği

Tablo 4: Z2 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri (10 ivme kaydı)

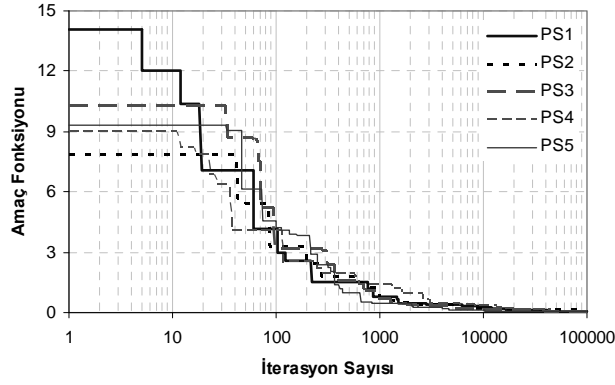
PS1		PS2		PS3		PS4		PS5	
No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek
18	1.8192	18	1.5298	24	2.0000	2	1.8524	12	1.9995
21	1.2349	21	1.9975	27	1.7951	16	1.5193	15	1.9841
27	1.5693	27	1.9747	31	1.9632	18	1.0618	21	1.9036
31	1.8309	49	1.3358	52	0.7751	21	1.6383	27	1.2340
52	1.9308	52	1.6207	80	2.0000	31	1.9998	30	1.7253
65	1.9964	92	1.9766	98	1.7786	52	1.9942	80	2.0000
76	1.8608	98	1.6628	104	1.9922	65	1.1428	93	1.7528
82	1.3814	102	1.8799	107	1.9790	80	1.6933	97	1.8128
98	1.7354	106	1.6738	112	1.6956	97	1.9773	98	1.3785
110	1.7506	110	1.4416	113	1.9349	98	1.2924	107	2.0000

Armoni Araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme



Şekil 6: Z3 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar (10 ivme kaydı)

Şekil 6 ve Şekil 7’de sırasıyla, Z3 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar ve farklı armoni parametre setleri için iterasyon sürecindeki yakınsama grafikleri verilmiştir. Tablo 5’te ise ivme setlerinde yer alan ivme kayıtları ve ölçekleme katsayıları verilmiştir.

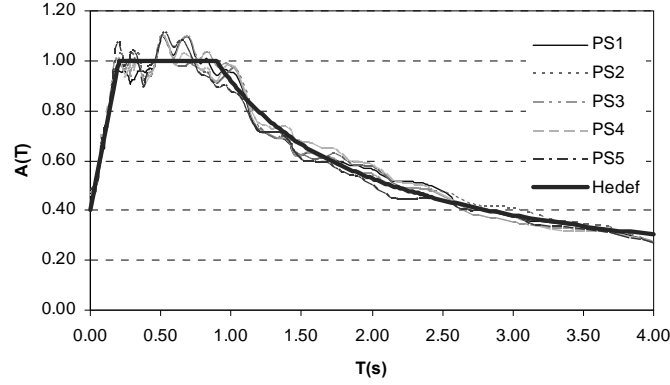


Şekil 7: Z3 sınıfı zemin için optimizasyon süreci yakınsama grafiği

Tablo 5: Z3 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri (10 ivme kaydı)

PS1		PS2		PS3		PS4		PS5	
No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek
6	1.8216	4	1.5448	6	1.9505	5	1.6567	6	1.7288
21	1.7209	6	1.8832	13	1.8432	12	1.6800	10	1.8066
27	1.8610	12	1.9416	17	1.1509	15	1.9627	21	1.8357
30	1.7420	15	1.9910	27	1.8802	27	1.4153	27	1.9052
42	1.2899	27	1.8826	29	1.9999	31	1.8730	35	1.9835
84	1.7993	30	1.9221	30	1.3676	42	1.7415	86	1.9638
95	1.6227	42	1.5854	80	1.8596	82	1.8382	93	2.0000
98	1.7678	52	1.1579	82	1.9587	96	1.9934	98	1.6787
111	1.8545	96	1.3015	96	1.7881	98	1.3574	109	1.3780
114	1.8141	98	1.8128	98	1.7579	111	1.9818	111	1.9259

Z4 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar Şekil 8’de verilmiştir. Tablo 6’da ise ivme setlerinde yer alan ivme kayıtları ve ölçekleme katsayıları verilmiştir.



Şekil 8: Z4 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar (10 ivme kaydı)

Tablo 6: Z4 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri (10 ivme kaydı)

PS1		PS2		PS3		PS4		PS5	
No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek
13	1.9786	16	1.9670	13	1.9717	16	1.7967	6	1.3829
16	1.9763	27	1.9978	16	1.7064	27	1.9931	13	2.0000
33	2.0000	36	1.9922	27	2.0000	40	1.9593	27	2.0000
40	1.9903	41	1.9725	41	1.9973	41	1.9804	40	2.0000
41	1.9811	42	2.0000	42	1.9961	42	1.9825	42	1.9994
42	2.0000	70	1.9608	69	1.9798	46	1.9415	52	2.0000
82	1.9710	91	1.8832	82	1.9765	82	1.9986	82	2.0000
91	1.6970	94	1.9741	91	1.9479	91	1.8484	91	1.7544
94	2.0000	96	1.9277	94	1.9797	94	1.9539	96	2.0000
97	1.7702	98	1.4637	97	1.5769	98	1.7086	112	1.8987

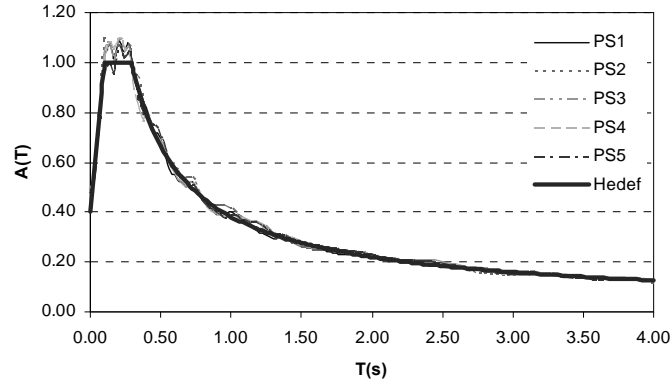
5.2. 15 Adet İvme Kaydından Oluşan İvme Setleri

Bu kısımda, ivme kaydı seti içerisinde yer alacak ivme kaydı sayısı 15, ivme kayıtlarına ait ölçekleme katsayısı ise 0.25-4.00 arasında seçilmiştir. Hedef spektrumlar için elde edilen tüm ivme setlerinde, bu çalışmada öngörülen tüm kısıtların sağlandığı belirlenmiştir.

Şekil 9’da Z1 sınıfı zemin için DBYBHY’te tanımlanmış elastik tasarım ivme spektrumu ve farklı çözüm parametreleri için elde edilmiş beş ivme setine ait ortalama spektrumlar verilmiştir. Tablo 7’de ise ivme setlerinde yer alan ivme kayıtları ve kullanılan ölçekleme katsayıları verilmiştir.

Armoni Araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme

Tablo 7 incelendiğinde, 10 ivme kaydından oluşan ivme setlerine ait tablolarda olduğu gibi, bazı ivme kayıtlarının farklı ölçekleme katsayıları ile farklı ivme setleri içerisinde yer aldığı gözlenmektedir. Örneğin 52, 60 ve 65 nolu kayıtlar beş ivme setinde de yer almaktadır.

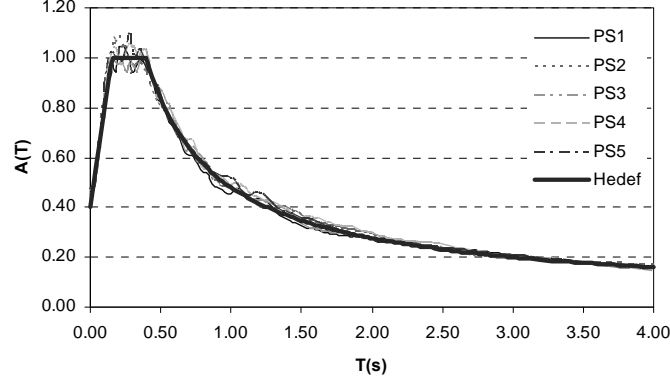


Şekil 9: Z1 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar (15 ivme kaydı)

Tablo 7: Z1 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri (15 ivme kaydı)

PS1		PS2		PS3		PS4		PS5	
No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek
7	2.9735	1	0.8410	7	3.4226	1	0.9811	21	0.7361
10	0.8190	52	3.6564	25	2.0801	7	3.3314	49	3.4294
32	3.3886	56	3.6250	52	3.5688	32	3.3320	52	3.8437
49	3.7978	57	3.7959	56	2.1400	52	3.4692	54	2.5854
52	3.0322	60	3.8295	57	3.9820	57	3.7980	57	3.9462
60	3.1461	61	3.3112	60	4.0000	60	3.3908	60	2.5618
61	2.2606	65	3.3246	65	3.8113	61	3.4809	61	3.6416
65	3.6162	70	0.9610	76	1.2906	65	3.0971	63	2.0806
80	3.6994	76	2.6641	80	3.5335	80	3.1165	65	3.5230
97	1.0214	80	3.9542	95	1.0835	100	3.8285	80	3.9252
100	3.9706	87	3.2445	100	2.2053	104	3.8811	102	0.9838
102	3.3640	97	1.2239	102	3.4069	107	1.4562	104	3.5345
106	1.5835	100	3.7371	104	2.1201	117	3.8110	107	3.6205
107	3.9085	101	2.3679	117	3.9953	120	1.0656	117	3.7103
117	3.9648	117	3.8055	121	2.2817	121	2.1446	121	1.9318

Şekil 10'da Z2 sınıfı zemin için DBYBHY'te tanımlanmış elastik tasarım ivme spektrumu ve bu zemin sınıfı için elde edilmiş ivme kaydı setlerine ait ortalama spektrumlar verilmiştir. Tablo 8'de ise Z2 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setlerinde yer alan ivme kayıtları ve kullanılan ölçekleme katsayıları görülmektedir.



Şekil 10: Z2 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar (15 ivme kaydı)

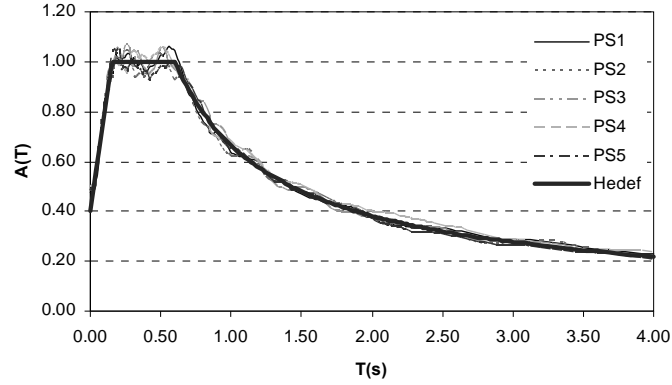
Tablo 8: Z2 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri (15 ivme kaydı)

PS1		PS2		PS3		PS4		PS5	
No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek
4	3.6222	8	3.6822	2	3.5924	1	2.1595	26	1.9491
7	3.7162	10	2.9545	4	2.7843	2	3.6980	31	3.4986
25	1.5423	27	3.7967	12	2.6462	13	1.8586	34	2.6232
30	1.7912	30	2.4969	16	1.1787	20	1.3760	52	3.8409
31	2.7581	38	0.5165	31	3.5253	31	3.5714	53	3.1400
60	1.8505	47	1.5157	49	0.2947	54	3.5204	80	3.4289
64	2.5496	49	3.2630	57	2.8463	56	2.9241	82	2.5107
65	3.9106	57	2.8229	75	1.4182	59	1.6636	101	2.9097
80	2.7637	60	3.9885	80	2.5817	65	0.5379	104	3.7739
88	3.3015	63	1.4470	97	1.9879	80	3.1560	105	1.7494
102	3.7854	102	3.9882	104	3.4724	86	3.7131	107	3.7407
107	3.4948	111	2.7435	117	3.2780	97	2.3573	108	3.0596
120	2.4940	119	0.4229	121	1.3628	102	2.6503	117	3.9558
123	2.0317	120	3.7738	125	1.5964	106	1.5364	118	1.2519
127	3.1139	122	1.4207	128	3.3518	128	3.0822	120	2.7385

Şekil 11'de Z3 sınıfı zemin için DBYBHY'te tanımlanmış elastik tasarım ivme spektrumu ve bu zemin sınıfı için elde edilmiş ivme kaydı setlerine ait ortalama spektrumlar verilmiştir. Tablo 9'da ise Z2 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setlerinde yer alan ivme kayıtları ve kullanılan ölçekleme katsayıları görülmektedir.

Z4 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setlerine ait ortalama spektrumlar Şekil 12'de verilmiştir. Tablo 10'da ise Z4 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setlerinde yer alan ivme kayıtları ve kullanılan ölçekleme katsayıları görülmektedir.

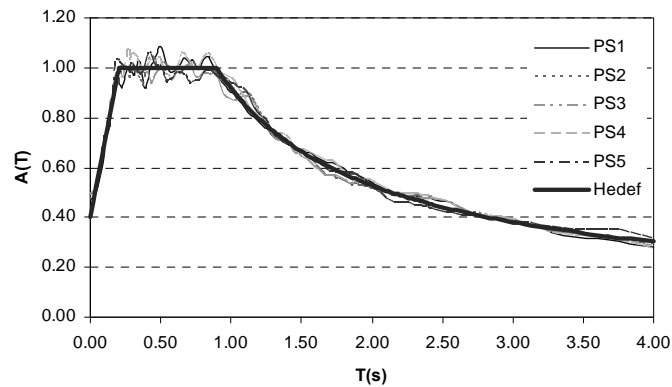
Armoni Araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme



Şekil 11: Z3 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar (15 ivme kaydı)

Tablo 9: Z3 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri (15 ivme kaydı)

PS1		PS2		PS3		PS4		PS5	
No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek
2	3.2221	7	1.8990	8	0.6609	2	3.8899	6	2.8144
5	1.8141	13	3.8959	13	1.2161	6	3.0668	21	3.4158
11	3.6236	15	3.9445	21	3.6983	9	2.0654	28	3.6357
19	3.3814	19	1.8479	26	3.5674	25	3.4221	29	2.0840
28	3.3065	21	2.4223	30	3.3658	27	2.6287	30	0.6249
31	2.4012	33	3.4486	33	3.7706	28	1.8841	38	2.0463
33	2.4171	39	3.5563	34	1.0517	33	3.0555	45	1.1902
37	1.3955	43	3.5135	39	2.4871	34	1.2005	50	3.6679
39	3.1490	55	1.8670	58	2.3065	44	1.4299	52	3.9137
52	2.3814	57	2.6973	61	3.8933	48	3.9191	62	3.7026
56	3.2242	61	2.9431	65	3.1003	64	3.7090	89	0.8704
59	1.2337	62	3.2314	81	2.7748	82	1.0869	97	0.6927
71	2.0596	67	2.4419	103	1.3728	122	2.2372	99	1.4785
99	3.9209	80	3.7957	111	1.3662	124	2.9020	104	3.3909
116	3.6393	82	2.3169	113	3.4421	126	2.4496	111	1.0002



Şekil 12: Z4 sınıfı zemin için elde edilen spektrumlar (15 ivme kaydı)

4 farklı zemin sınıfı için 10 ve 15 ivme kaydına sahip ivme setleri, 5 farklı armoni araştırması parametre seti kullanılarak elde edilmiştir. Sonuç olarak toplam 40 ivme kaydı seti oluşturulmuştur. Elde edilen 40 ivme seti incelenmiş, seçimde kullanılmak üzere önceden belirlenen 199 ivme kaydından 129 tanesinin en az bir ivme seti için seçildiği belirlenmiştir. İvme setlerine seçilen 129 ivme kaydına ait bilgiler Ek 1’de verilmiştir.

Z1 sınıfı zeminler için elde edilen 10 ivme kaydına sahip 5 ivme kaydı seti için Denklem 7 ile verilen kısıtlar sağlanamamıştır. Farklı ölçekleme katsayısı aralığı kullanılarak veya durma koşulu olarak kullanılan maksimum iterasyon sayısı artırılarak, bu ivme setlerinin de tüm kısıtlar sağlanacak şekilde elde edilebileceğini söylemek gerekir. Diğer tüm ivme setleri, çalışmada kullanılan tüm kısıtlar sağlanacak şekilde elde edilmiştir.

Tablo 10: Z4 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri (15 ivme kaydı)

PS1		PS2		PS3		PS4		PS5	
No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek	No	Ölçek
23	2.0532	2	4.0000	10	3.7354	3	3.8139	14	1.2693
27	3.8482	27	3.3795	22	1.3395	10	2.7602	27	2.7515
33	2.9281	29	1.6224	27	3.7767	20	0.5303	32	3.3578
34	1.6207	32	2.3402	31	2.9813	27	3.4951	33	3.0503
41	2.7428	33	3.8926	33	3.0691	32	3.1434	34	3.7876
42	3.5105	38	2.0894	38	2.9611	41	3.4836	40	2.5847
45	2.6119	40	2.4422	41	3.8323	42	2.8321	42	3.6988
46	2.5808	41	3.6311	70	3.1317	55	2.1409	55	2.4589
51	1.9456	56	1.2201	71	3.6443	66	3.9804	70	3.8469
72	2.6300	70	3.4843	75	0.6029	68	2.7398	81	3.9594
74	3.7545	71	2.8882	78	3.0602	69	3.9752	83	3.5259
77	2.9512	76	2.1461	79	2.8303	75	1.6894	85	1.4555
92	3.5401	79	2.9999	80	3.8382	82	3.0994	86	1.3627
95	3.5308	88	3.6684	95	1.0480	90	1.8580	92	3.2250
108	2.8714	92	3.8354	111	2.5558	94	3.8200	93	3.6216

Bu çalışmada kullanılan yöntemin etkinliğinin değerlendirilebilmesi amacıyla daha önce yapılmış bazı çalışmalar ile karşılaştırma yapılmıştır. Gerçek ivme kayıtlarının zaman tanım alanında ölçeklendirilmesi ile ilgili olarak yapılan üç çalışma karşılaştırma için seçilmiştir: (1) Eurocode-8’de yer alan tasarım ivme spektrumu ile uyumlu ivme kaydı setlerinin elde edildiği Iervolino ve diğ. tarafından yapılan çalışma [11], (2) DBYBHY’te tanımlanmış tasarım ivme spektrumları ile uyumlu ivme kaydı setlerinin elde edildiği Fahjan tarafından yapılan çalışma [4] ve (3) sezgisel optimizasyon tekniklerinden biri olan genetik algoritma kullanılarak ivme kayıtlarının seçildiği Naiem ve diğ. tarafından yapılan çalışma [9]. Bahsedilen üç çalışmada kullanılan parametreler, bu çalışmada elde edilen ivme setleri için de hesaplanmıştır.

Iervolino ve diğ. tarafından yapılan çalışmada, Avrupa ve Akdeniz’de meydana gelen depremlerden kaydedilmiş 850 ivme kaydı kullanılmıştır. Ölçeklendirme katsayıları kullanmadan ve ölçeklendirme katsayıları kullanılarak, her bir hedef spektrum için 7 ivme

kaydına sahip ivme seti kombinasyonları oluşturulmuştur. Bu setler için elde edilen ortalama spektrum ile zemin sınıfları için tanımlanmış tasarım ivme spektrumları arasındaki sapma Denklem 12 ile hesaplanmıştır. Her bir hedef spektrum için elde edilen ivme kaydı setleri içinde en düşük δ değerine sahip ivme setleri belirlenmiştir. Her bir hedef spektrum için en düşük δ değerlerinin %4 ile %17 arasında değiştiği belirtilmiştir [11].

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{E(T_i) - A(T_i)}{A(T_i)} \right)^2} \quad (12)$$

Denklem 12’de m ivme spektrumu çizdirilirken ΔT ’ye bağlı olarak belirlenmiş adım sayısıdır. Bu çalışmada 0.00-4.00s arasında $\Delta T=0.02$ seçildiği için adım sayısı $m=200$ ’dür.

Genetik algoritma kullanılarak ivme kayıtlarının seçildiği ve ölçeklendirildiği çalışmada [9], 1496 ivme kaydı içerisinde seçim yapılarak, 7 ivme kaydından oluşan bir ivme kaydı seti oluşturulmuştur. İvme kaydı setindeki her bir ivme kaydının iki yatay bileşeni de kullanılmıştır. Öngörülen kısıtlar sağlanacak şekilde elde edilen ivme kaydı seti için Denklem 12 ile verilen δ değeri %7.7 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ivme kaydı sayısı 10 olacak şekilde elde edilen ivme kaydı setleri için, Z1 sınıfı zeminler dikkate alındığında δ değerinin %8.3 ile %9.6 arasında değiştiği, diğer zemin sınıfları dikkate alındığında δ değerinin %3.8 ile %6.0 arasında değiştiği Tablo 11’de görülmektedir. δ değerinin nispeten yüksek hesaplandığı Z1 sınıfı zeminler için tüm kısıtların sağlanamadığını hatırlatmakta fayda vardır. İvme kaydı sayısı 15 olacak şekilde elde edilen ivme setleri için ise δ değerinin %3.4 ile %4.9 arasında değiştiği görülmektedir.

Tablo 11: İvme kaydı setleri için hesaplanan δ ve OGH değerleri (%)

Zemin Sınıfı	Parametre Seti	10 ivme kaydı		15 ivme kaydı		Zemin Sınıfı	Parametre Seti	10 ivme kaydı		15 ivme kaydı	
		δ	OGH	δ	OGH			δ	OGH	δ	OGH
Z1	PS1	8.3	7.0	3.4	2.4	Z3	PS1	4.7	3.9	4.0	3.3
	PS2	9.6	7.4	4.9	3.7		PS2	5.1	4.4	4.5	3.6
	PS3	9.4	7.4	4.1	3.1		PS3	3.8	3.0	4.0	3.1
	PS4	9.4	7.5	4.1	3.1		PS4	4.6	3.6	4.9	3.9
	PS5	8.4	6.9	4.0	3.4		PS5	4.3	3.2	4.1	3.3
Z2	PS1	4.8	3.8	4.0	3.4	Z4	PS1	5.2	4.2	4.0	3.1
	PS2	4.4	3.6	4.3	3.6		PS2	5.1	4.5	3.5	2.6
	PS3	4.9	4.1	3.6	2.9		PS3	5.7	4.8	3.4	2.6
	PS4	4.7	3.8	4.9	4.0		PS4	5.8	5.0	3.7	2.9
	PS5	5.0	4.3	3.6	2.9		PS5	6.0	5.2	4.2	3.3

Fahjan tarafından, DBYBHY’te tanımlanmış tasarım ivme spektrumları ile uyumlu spektruma sahip ivme setlerinin oluşturulduğu çalışmada, PEER veri tabanında yer alan ivme kayıtları arasından seçim yapılmıştır. Z1, Z2, Z3 ve Z4 sınıfı zeminler dikkate

alınarak 10 ivme kaydına sahip ivme kaydı setleri oluşturulmuştur. Hedef spektrum ile elde edilen ortalama spektrum arasındaki sapmanın ölçüsü olarak kullanılan oransal göreceli hata (*OGH*) Denklem 13 ile verilmiştir [11]. İvme kayıtları için hesaplanan *OGH* değerleri %10.7 ile %34.6 arasında değişmektedir. İvme kaydı setlerine ait *OGH* değerleri kullanılarak her bir ivme kaydı seti için ortalama *OGH* değerleri hesaplanmış ve Z1, Z2, Z3 ve Z4 sınıfı zeminler için sırasıyla %27.7, %18.7, %20.7 ve %21.8 bulunmuştur.

$$OGH = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \left(\frac{E(T_i) - A(T_i)}{A(T_i)} \right) \right| \quad (13)$$

Tablo 11’de, bu çalışmada elde edilen ivme kaydı setleri için hesaplanan ortalama *OGH* değerlerinin 10 ivme kaydına sahip ivme setleri için %3.8 ile %7.5 arasında, 15 ivme kaydına sahip ivme setleri için ise %2.4 ile %4.0 arasında değiştiği görülmektedir.

Karşılaştırma için kullanılan çalışmalar ile bu çalışma; ivme seti oluşturulmasında kullanılan yöntem, hedef olarak kullanılan ivme spektrumu, seçimlerin yapıldığı ivme kayıtları bakımından birebir aynı değildir. Ayrıca δ ve *OGH* parametrelerin hesaplandığı periyot aralıkları da farklıdır. Dolayısıyla, bu çalışmada ve daha önceki çalışmalarda elde edilen δ ve *OGH* değerlerindeki farklılığın sadece çözüm yönteminden kaynaklanmadığı, bahsedilen farklılıkların da bu konuda etkili olduğu unutulmamalıdır. Bu sebeple, söz konusu çalışmalar ile birebir karşılaştırma yaparak, önerilen yöntemin performansını değerlendirmenin uygun olmayacağı söylenebilir. Ancak δ ve *OGH* değerleri bu çalışmada elde edilen ivme setleri için de hesaplanmış ve en azından bu parametrelerin mertebesi bakımından değerlendirme yapılmasına olanak sağlanmıştır.

İvme kaydı setlerinin oluşturulması için hesaplamalar Pentium 2.26GHz işlemci ve 3GB Ram’e sahip bir bilgisayar kullanılarak yapılmıştır. Tüm ivme kaydı setleri için maksimum iterasyon sayısı 100,000 olarak tanımlanmış idi. 10 ve 15 ivme kaydından oluşan setlerin elde edilmesi için 100,000 iterasyon yaklaşık olarak sırasıyla 6 dakika ve 8 dakikada tamamlanmaktadır.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada armoni araştırması optimizasyon tekniği kullanılarak, DBYBHY’te Z1, Z2, Z3 ve Z4 sınıfı zeminler için tanımlanmış olan elastik tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde gerçek ivme kayıtları seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. Böylece zaman tanım alanında analiz için kullanılacak ivme kaydı setleri elde edilmiştir.

Çalışmada, birinci derece deprem bölgesinde yer alan ve bina önem katsayısı $I=1$ olan binalar için tanımlanmış elastik tasarım ivme spektrumları, hedef spektrum olarak seçilmiştir.

İvme setleri oluşturmak için iki farklı senaryo uygulanmıştır. Birinci senaryoda, ivme kaydı setlerinde 10 adet ivme bulunması ve ölçekleme katsayısının 0.50-2.00 arasında olması öngörülmüş, ikinci senaryoda ise ivme seti içerisindeki ivme kaydı sayısı 15 ve ölçekleme katsayısı 0.25-4.00 arasında kabul edilmiştir.

Armoni Araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme

Birinci senaryoda, Z1 sınıfı hedef spektrum dikkate alınarak elde edilen ivme setleri için, çalışmada öngörülen kısıtların tamamı sağlanamamıştır. Diğer zemin sınıfları için elde edilen ivme setleri için tüm kısıtlar sağlanmıştır. İkinci senaryoda, tüm zemin sınıfları için, ivme setleri öngörülen tüm kısıtlar sağlanacak şekilde elde edilmiştir.

Tüm kısıtlar sağlanacak şekilde elde edilen ivme kaydı setleri, DBYBHY'e göre, periyodu 0.20s ile 2.00s arasında değişen yapıların analizi ya da tasarımı amacıyla kullanılabilir. Bu periyot aralığı ise yapıların büyük bir kısmını temsil etmektedir.

Bu çalışmada, durma koşulu olarak 100,000 iterasyon yerine tüm kısıtlar sağlanacak şekilde ilk ivme kaydı setinin oluşturulması seçilse idi, istenen ivme kaydı setinin daha önceki bir iterasyonda elde edilmesi halinde 100,000 iterasyona gerek olmayacak ve sonuç daha hızlı elde edilmiş olacaktı. Öte yandan iterasyon sayısı için bir kısıt konmаса idi, bazı kısıtların sağlanamadığı ivme setleri için, dikkate alınan tüm kısıtlar sağlanacak şekilde ivme kaydı elde edilmesi için iterasyonlara devam edilebilecekti. Önerilen yöntemin bu hususlar dikkate alınarak kullanılması, daha efektif sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Elde edilen sonuçlar, farklı mühendislik optimizasyon probleminin çözümünde kullanılan armoni araştırması optimizasyon tekniğinin, gerçek ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesinde de etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Semboller

$A(T)$: Elastik spektral ivme katsayısı
A_o	: Etkin yer ivmesi katsayısı
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
$E(T)$: İvme kaydı setlerinden elde edilen ortalama ivme spektrumu
$F(\mathbf{x})$: Minimize edilecek amaç fonksiyonu
g	: Yer çekimi ivmesi
$g_1(\mathbf{x}), g_2(\mathbf{x}), g_3(\mathbf{x})$: Kısıtların dikkate alınabilmesi için kullanılan penalti fonksiyonları
HM	: Armoni belleği matrisi
$HMCR$: Armoni belleğini dikkate alma oranı
HMS	: Armoni belleği kapasitesi
I	: Bina önem katsayısı
k	: İvme kayıtları için kullanılan doğrusal ölçekleme katsayısı
M	: Depremin büyüklüğü
m	: İvme spektrumu elde edilirken kullanılan periyot adım sayısı
n	: İvme seti içerisindeki ivme kaydı sayısı
N	: Karar değişkeni sayısı
OGH	: Ortalama spektrum ve hedef spektrum arasındaki oransal göreceli hata
NEHRP	: Ulusal deprem riskini azaltma programı
PAR	: Ton ayarlama oranı

PEER	: Pasifik deprem araştırmaları merkezi
$S(T)$: Spektrum katsayısı
$SA_i(T)$: İvme kaydı içerisindeki her bir ivme için elde edilen ivme spektrumu
T	: Bina periyodu
T_A, T_B	: Zemin sınıflarına ait spektrum karakteristik periyotları
x	: Karar değişkenleri (ivme kaydı numarası ve ölçekleme katsayısı)
\mathbf{x}	: Karar değişkenleri vektörü
δ	: Ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki sapma

Teşekkür

Bu çalışmaya yaptığı katkılardan dolayı Dr. M. Tamer AYVAZ'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Abrahamson, N.A., Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH, User Manual, July 16, 1993.
- [2] Bommer, J.J., Acevedo, A.B., The Use of Real Earthquake Accelerograms as Input to Dynamic Analysis, Journal of Earthquake Engineering, Special Issue, 8(1):43–91, 2004.
- [3] Boore, D.M., Simulation of Ground-Motion Using The Stochastic Method, Pure and Applied Geophysics, 160: 635–676, 2003.
- [4] Fahjan, Y.M., Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, İMO Teknik Dergi, 4423-4444, 2008.
- [5] Eurocode-8, European Committee for Standardisation TC250/SC8/ [2003]: Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, Part 1.1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, PrEN1998-1.
- [6] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2007.
- [7] Gasparini, D., Vanmarcke, E.H., SIMQKE: A Program for Artificial Motion Generation, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1976.
- [8] Carballo, J.E., Cornell, C.A., Probabilistic Seismic Demand Analysis: Spectrum Matching and Design, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Report No. RMS-41, 2000.
- [9] Naeim, F., Alimoradi, A., Pezeshk, S., Selection and Scaling of Ground Motion Time Histories for Structural Design Using Genetic Algorithm, Earthquake Spectra, 20(2):413-426, 2004.
- [10] Watson-Lamprey, J., Abrahamson, N., Selection of Ground Motion Time Series and Limits on Scaling, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26:477-482, 2006.

- [11] Iervolino, I., Maddaloni, G., Cosenza, E., Eurocode 8 Compliant Real Record Sets for Seismic Analysis of Structures, *Journal of Earthquake Engineering*, 12:54-90, 2008.
- [12] Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, 1-88, 1989.
- [13] Haddock, J., Mittenthal, J., *Simulation Optimization Using Simulated Annealing*, Computers and Industrial Engineering, 387-395, 1992.
- [14] Maniezzo, V., Gambardella L.M., De Luigi, F., *Ant Colony Optimization, New Optimization Techniques in Engineering*, Springer, Germany, 101-121, 2004.
- [15] Glover, F., Laguna, M., *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers, USA, 1997.
- [16] Geem, Z.W., Kim, J.H., Loganathan, G.V., A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*, 76 (2):60-68, 2001.
- [17] Ayvaz, M.T., Simultaneous Determination of Aquifer Parameters and Zone Structures with Fuzzy c-Means Clustering and Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, *Advances in Water Resources*, 30:2326-2338, 2007.
- [18] Lee, K.S., Geem, Z.W., Lee, S.H., Bae, K.W., The Harmony Search Heuristic Algorithm for Discrete Structural Optimization, *Engineering Optimization*, 37(7): 663-684, 2005.
- [19] Geem, Z.W., Optimal Cost Design of Water Distribution Networks Using Harmony Search, *Engineering Optimization*, 38(3):259-280, 2006.
- [20] Saka, M.P., Optimum Geometry Design of Geodesic Domes Using Harmony Search Algorithm, *Advances in Structural Engineering*, 10(6): 595-606, 2007.
- [21] Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Baskan, O., Transport Energy Modeling with Meta-heuristic Harmony Search Algorithm, An Application to Turkey, *Energy Policy*, 36:2527- 2535, 2008.
- [22] Degertekin, S.O., Optimum Design of Steel Frames Using Harmony Search Algorithm, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 36(4):393-401, 2008.
- [23] Saka, M.P., Optimum Design of Steel Sway Frames to BS5950 Using Harmony Search Algorithm, *Journal of Constr. Steel Research*, 65(1): 36-43, 2009.
- [24] PEER, NGA Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/nga>, 2009.
- [25] Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, T.C. Bayındırlık ve İşkan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr>, 2009.
- [26] Bommer, J.J., Martinez-Pereira, A., The Effective Duration of Earthquake Strong Motion, *Journal of Earthquake Engineering*, 3, 127-172, 1999.
- [27] SeismoSignal Version 3.3.0., <http://www.seismosoft.com>, 2009.
- [28] Coello, C.A., Theoretical and Numerical Constraint-handling Techniques Used with Evolutionary Algorithms: A Survey of The State of The Art, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191:1245-1287, 2002.
- [29] Microsoft, *Microsoft Excel - Visual Basic for Applications*. Microsoft Press, Washington, 1995.

Ek 1. İvme setleri için seçilen kayıtlara ait bilgiler

No	İvme Kaydı Bileşeni	No	İvme Kaydı Bileşeni	No	İvme Kaydı Bileşeni
1	CAPEMEND/EUR000.at2	44	COALINGA/H-C05360.at2	87	LOMAP/FMS090.at2
2	CAPEMEND/EUR090.at2	45	COALINGA/H-COW000.at2	88	LOMAP/FRE000.at2
3	CAPEMEND/FOR000.at2	46	COALINGA/H-Z02090.at2	89	LOMAP/FRE090.at2
4	CAPEMEND/FOR090.at2	47	CORINTH/COR--L.at2	90	LOMAP/HVR000.at2
5	CAPEMEND/PET000.at2	48	DUZCE/1061-E.at2	91	LOMAP/HSP000.at2
6	CAPEMEND/PET090.at2	49	DUZCE/1062-N.at2	92	LOMAP/HCH090.at2
7	CAPEMEND/SHL090.at2	50	HECTOR/21081090.at2	93	LOMAP/PAE325.at2
8	CHALFANT/A-BEN270.at2	51	HECTOR/21081360.at2	94	LOMAP/PAE055.at2
9	CHALFANT/A-LAD270.at2	52	IMPVALL/H-BRA225.at2	95	LOMAP/SVL270.at2
10	CHICHI/ALS-E.at2	53	IMPVALL/H-CX0315.at2	96	LOMAP/SVL360.at2
11	CHICHI/ALS-N.at2	54	IMPVALL/H-CAL225.at2	97	MANJIL/ABBAR--L.at2
12	CHICHI/CHY010-W.at2	55	IMPVALL/H-CPE237.at2	98	MANJIL/ABBAR--T.at2
13	CHICHI/CHY025-E.at2	56	IMPVALL/H-CMP015.at2	99	MANJIL/185336.at2
14	CHICHI/CHY025-N.at2	57	IMPVALL/H-CMP285.at2	100	MORGAN/G02000.at2
15	CHICHI/CHY029-E.at2	58	IMPVALL/H-DLT262.at2	101	NORTHTR/BIR090.at2
16	CHICHI/CHY036-E.at2	59	IMPVALL/H-DLT352.at2	102	NORTHTR/BIR180.at2
17	CHICHI/CHY041-E.at2	60	IMPVALL/H-E01140.at2	103	NORTHTR/WIL090.at2
18	CHICHI/CHY041-N.at2	61	IMPVALL/H-E01230.at2	104	NORTHTR/116090.at2
19	CHICHI/CHY046-E.at2	62	IMPVALL/H-E12140.at2	105	NORTHTR/116360.at2
20	CHICHI/CHY046-N.at2	63	IMPVALL/H-E13230.at2	106	NORTHTR/BLD090.at2
21	CHICHI/CHY074-E.at2	64	IMPVALL/H-PTS225.at2	107	NORTHTR/VRM000.at2
22	CHICHI/CHY086-E.at2	65	IMPVALL/H-PTS315.at2	108	NORTHTR/MAL090.at2
23	CHICHI/CHY086-N.at2	66	IMPVALL/H-VCT075.at2	109	NORTHTR/MRP090.at2
24	CHICHI/CHY088-N.at2	67	IMPVALL/H-VCT345.at2	110	NORTHTR/CWC180.at2
25	CHICHI/TCU015-N.at2	68	ITALY/A-CTR000.at2	111	NORTHTR/CWC270.at2
26	CHICHI/TCU029-E.at2	69	ITALY/A-CTR270.at2	112	NORTHTR/STC090.at2
27	CHICHI/TCU029-N.at2	70	ITALY/B-CTR000.at2	113	NORTHTR/RO3090.at2
28	CHICHI/TCU031-E.at2	71	ITALY/B-CTR270.at2	114	NORTHTR/GLE170.at2
29	CHICHI/TCU034-N.at2	72	KERN/TAF021.at2	115	SFERN/ORR291.at2
30	CHICHI/TCU038-N.at2	73	KERN/TAF111.at2	116	SFERN/L01111.at2
31	CHICHI/TCU040-E.at2	74	KOCAELI/IZN090.at2	117	SFERN/FSD172.at2
32	CHICHI/TCU040-N.at2	75	KOCAELI/IZN180.at2	118	SFERN/WND143.at2
33	CHICHI/TCU048-E.at2	76	LANDERS/BRS000.at2	119	SUPERST/A-IVW090.at2
34	CHICHI/TCU057-E.at2	77	LANDERS/DSP000.at2	120	SUPERST/A-IVW360.at2
35	CHICHI/TCU061-E.at2	78	LANDERS/DSP090.at2	121	SUPERST/B-ICC000.at2
36	CHICHI/TCU061-N.at2	79	LANDERS/JOS090.at2	122	SUPERST/B-ICC090.at2
37	CHICHI/TCU070-N.at2	80	LANDERS/MCF090.at2	123	SUPERST/B-WSM180.at2
38	CHICHI/TCU104-E.at2	81	LANDERS/NPS090.at2	124	SUPERST/B-IVW090.at2
39	CHICHI/TCU106-E.at2	82	LANDERS/YER270.at2	125	SUPERST/B-IVW360.at2
40	CHICHI/TCU106-N.at2	83	LANDERS/YER360.at2	126	TABAS/BOS-L1.at2
41	CHICHI/TCU110-E.at2	84	LOMAP/AGW000.at2	127	WESTMORL/PTS225.at2
42	CHICHI/TCU110-N.at2	85	LOMAP/AGW090.at2	128	WHITTIER/A-MUL009.at2
43	COALINGA/H-C02000.at2	86	LOMAP/DUMB267.at2	129	WHITTIER/A-STC090.at2