EUROCODE-8 İLE UYUMLU ÖLÇEKLENDİRİLMEMİŞ İVME KAYDI SETLERİNİN ARMONİ ARAŞTIRMASI TEKNİĞİ İLE ELDE EDİLMESİ

A.H. Kayhan

Yrd. Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli
Email: hkayhan@pau.edu.tr.

ÖZET:

Bu çalışmada zaman tanım alanında analiz için kullanılabilecek gerçek ivme kayıtlarının seçilmesi amacıyla, sezgisel armoni araştırması optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla Eurocode-8'de farklı zemin sınıfları için tanımlanmış elastik tasarım ivme spektrumları hedef spektrum olarak seçilmiş ve hedef spektrumlar ile uyumlu olacak şekilde ivme kaydı setleri oluşturulmuştur. İvme kaydı setlerinin oluşturulması amacıyla, Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi veri tabanında yer alan kayıtlar arasından seçim yapılmıştır. İvme kayıtları, ölçeklendirilmeden kaydedilmiş halleri ile kullanılmıştır. İvme setlerindeki ivme kaydı sayısı 7 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Eurocode-8'de tanımlanmış olan hedef tasarım spektrumları ile uyumlu ivme kaydı setlerinin oluşturulmasında, armoni araştırması optimizasyon tekniğinin etkili bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: armoni araştırması, ivme kaydı seçimi, optimizasyon

1. GİRİŞ

Mevcut yapıların deprem etkisi altında davranışlarının ve deprem performanslarının belirlenmesi, ya da yeni bir yapının tasarımı için kullanılacak analiz yöntemleri arasında, en kapsamlı analiz yöntemi zaman tanım alanında analiz yöntemidir. Zaman tanım alanında analiz için kullanılacak ivme kayıtları ise ya tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde yapay olarak, ya sismik kaynak ve dalga yayılımı özellikleri dikkate alınarak benzetim yolu ile ya da gerçek deprem kayıtlarından elde edilmektedir (Abrahamson, 1993; Bommer ve Acevedo, 2004; Boore, 2003).

Deprem kayıtlarından elde edilen çok sayıda ivme kaydının yer aldığı veri tabanlarının daha kolay ulaşılabilir hale gelmesi gerçek ivme kayıtları kullanmanın daha fazla tercih edilmesine olanak sağlamıştır. Bilindiği gibi analiz için kullanılacak deprem kaydı analiz sonucunu doğrudan etkilemektedir. Öte yandan veri tabanlarında yer alan ivme kayıtlarının elde edildiği depremin büyüklüğü, fayın tipi, yer hareketinin kaydedildiği kayıt istasyonlarının faya olan uzaklığı, zemin özellikleri gibi özellikler çok değişkenlik göstermektedir. Bu durumda, yüzlerce ivme kaydının bulunduğu veri tabanından, binanın bulunduğu bölgenin depremselliğini temsil edecek kayıtları seçebilmek önem kazanmaktadır.

Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) ve Eurocode-8 (2004) gibi deprem yönetmeliklerinde, dikkate alınan periyot aralığında bölgesel tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde ivme kayıtlarının seçilmesi ile ilgili tanımlamalar yer almaktadır. Ancak ivme kaydı seçimi ile kriterler genel olarak verilmekte özel ve ayrıntılı tanımlamalar yapılmamaktadır. Zaman tanım alanında analiz ve kullanılacak ivme kaydı seçimi ile ilgili çalışmalar nispeten yenidir ve bu konuda çalışan uzmanlar arasında ivme kaydı seçimine ilişkin herkesin

hem fikir olduğu bir yaklaşım henüz yoktur. Modern yönetmeliklerde ise genel yaklaşım sentetik, yapay ya da gerçek ivme kayıtlarının, yönetmeliklerde yer alan tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde seçilmesi şeklindedir. Ek olarak yönetmelikten yönetmeliğe değişen birkaç koşul da yer almaktadır. Hemen hemen tüm yönetmeliklerde, analizlerde en az üç ivme kaydının kullanılması, yediden daha az ivme kullanılması durumunda analiz sonuçlarının maksimumunun, daha fazla ivme kaydı kullanılması durumunda ise analiz sonuçlarının ortalamasının dikkate alınması koşulları yer almaktadır.

Herhangi bir ivme kaydından elde edilen tepki spektrumunun, yönetmeliklerde tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu olması çok zordur. Bu sebeple birden fazla ivme kaydı seçmek ve bu ivme kayıtlarına ait spektrumların ortalamasının yönetmelik spektrumu ile uyumlu olmasına çalışmak yoluna gidilmektedir. Bu işlem yapılırken uyumun artırılması ya da sağlanması amacıyla bazı ivme kayıtlarının frekans tanım alanında (Bolt ve Gregor, 1993) ya da zaman tanım alanında (Kayhan vd., 2011; Iervolino vd., 2009; Fahjan, 2008) ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Zaman tanım alanında ölçeklendirme yönteminde ivme kaydının genliğinin bir katsayı ile çarpılarak ölçeklendirilmesi söz konusudur. Dolayısıyla yönetmeliklerle uyumlu ivme kaydı seçimi problemi, birden fazla ivme kaydının seçilmesi ve bunların ölçeklendirilmesi şeklinde ifade edilebilmektedir.

Bu çalışmada, Eurocode-8 tasarım spektrumları ile uyumlu ivme kaydı seçiminde etkili bir yöntem olarak kullanılabildiği daha önce gösterilmiş olan armoni araştırması optimizasyon yönteminin (Kayhan vd., 2011), ivme kayıtlarının ölçeklendirilmemiş yani kayıt edildiği halleri kullanılarak ivme kaydı seti oluşturulup oluşturulamayacağı araştırılmıştır. Çalışma amacı doğrultusunda Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı'nda yer alan ivme kayıtları içerisinden seçim yapılmıştır (Ambraseys vd., 2004). Eurocode-8'de A, B ve C sınıfı zeminler için tanımlanmış tasarım spektrumları hedef spektrum olarak seçilmiş ve her bir hedef spektrum ile uyumlu ortalama spektruma sahip olacak şekilde 7 ivme kaydından oluşan ivme kaydı setleri elde edilmiştir. İvme kaydı setleri bu çalışmada yer alan tüm kriterler sağlanacak şekilde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, armoni araştırması optimizasyon yönteminin, Eurocode-8 tasarım spektrumları ile uyumlu ivme kaydı setlerinin ölçeklendirme katsayıları kullanılmadan elde edilmesinde de etkili bir yöntem olarak kullanılabileceğini söylemek mümkündür.

2. EUROCODE-8 TASARIM SPEKTRUMLARI VE İVME KAYDI SEÇİM KRİTERLERİ

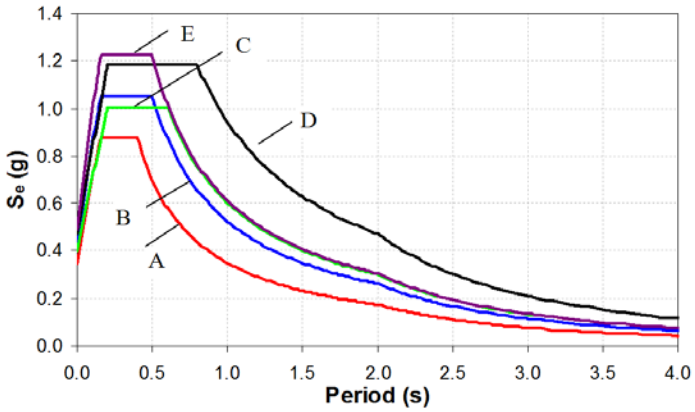
2.1. Eurocode-8 Tasarım Spektrumları

Eurocode-8'de yerel zemin sınıflarına ait tasarım spektrumları Denklem 1 ile tanımlanmaktadır.

$$\begin{cases} 0 \le T \le T_B: \; S_e(T) = a_g S \left[1 + \dfrac{T}{T_B}(\eta \; 2.5 - 1) \right] \\ T_B \le T \le T_C: \; S_e(T) = a_g S \; \eta \; 2.5 \\ T_C \le T \le T_D: \; S_e(T) = a_g S \; \eta \; 2.5 \left[\dfrac{T_C}{T} \right] \\ T_D \le T \le 4s: \; S_e(T) = a_g S \; \eta \; 2.5 \left[\dfrac{T_C T_D}{T^2} \right] \end{cases} \quad (1)$$

Denklem 1'de $S_e(T)$ elastik tepki spektrumunu, T tek serbestlik dereceli sistemin titreşim periyodunu, a_g, A sınıfı zemin için bölgenin tasarım yer ivmesini ifade etmektedir ve bu çalışmada a_g=0.27g alınmıştır. S yerel zemin faktörü, T_B ve T_C sabit ivme bölgesinin karakteristik periyotlarıdır. T_D sabit deplasman bölgesi için minimum periyot değerini ifade etmektedir. η ise %5 kritik sönüm için kullanılan sönüm düzeltme katsayısıdır.

Elastik tasarım spektrumunun ordinatları ve şekli bölgenin depremselliğine ve zemin sınıfına bağlı olarak değişmektedir. A, B, C, D ve E sınıfı zeminler için kullanılan tasarım ivme spektrumları Şekil 1'de verilmiştir. Tablo 1'de ise tasarım ivme spektrumu için kullanılan değerler verilmektedir.



Şekil 1. Eurocode-8 Tasarım İvme Spektrumları

Tablo 1. Eurocode-8 Tasarım İvme Spektrumu Parametreleri

Zemin Sınıfı	*S*	T_B *(s)*	T_C *(s)*	T_D *(s)*
A	1.00	0.15	0.4	2.0
B	1.20	0.15	0.5	2.0
C	1.15	0.20	0.6	2.0
D	1.35	0.20	0.8	2.0
E	1.40	0.15	0.5	2.0

2.2. Eurocode-8'de Tanımlanan İvme Seçimi Kriterleri

Eurocode-8'e göre bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için yapay, sentetik ya da gerçek ivme kayıtları kullanılabilmektedir. Ancak seçilen ivme kayıtlarının aşağıda verilen koşulları sağlaması gerekmektedir:

- Kullanılacak olan deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $a_g S$'den daha küçük olmayacaktır.

- Kullanılacak her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci periyodu T'ye göre $0.2T$ ile $2.0T$ arasındaki periyotlar için, tanımlanmış olan elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

- En az üç ivme kaydı kullanılacaktır.

- Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

Eurocode-8 Part I, bina türü yapıların analizi için iki yönlü (bi-directional) ve eş yönlü (uni-directional) analize izin vermektedir. İki yönlü analizlerde ivme kaydı setinde bulunan ivme kayıtlarının iki yatay bileşeni de kullanılmaktadır. Eş yönlü analizlerde ise aynı ivme kaydının iki yatay bileşeninin de kullanılmasına izin

verilmemektedir. Bu çalışmada, bina türü yapıların eş yönlü analizleri için kullanılabilecek ivme kaydı setleri oluşturulmuştur.

Eurocode-8 tasarım spektrumları ile uyumlu ivme kaydı setlerinin oluşturulmasında yukarıda bahsedilen kriterler yanında bazı ek kriterler de dikkate alınmıştır. Örneğin, ivme kaydı setine ait ortalama spektrumun hedef spektruma oranı, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci periyodu T'ye göre $0.2T$ ile $2.0T$ arasındaki periyotlar için 0.90'dan daha az olmayacaktır. Ancak bu oran için Eurocode-8'de bir üst sınır tanımlanmamıştır. Ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyumun artırılması amacıyla söz konusu oran için 1.10 değeri üst sınır olarak tanımlanmıştır.

Binanın birinci doğal titreşim periyodunun 0.50s olduğu kabul edilerek, spektrumlar arasındaki uyum için periyodun 0.01s-2.00s aralığı dikkate alınmıştır.

İvme kayıtlarının zaman tanım alanında ölçeklendirilmesi için kullanılan katsayı bu çalışmada 1.00 olarak tanımlanmıştır. Yani ivme kayıtları ölçeklendirilmeden kayıt edilmiş halleri ile kullanılmıştır.

3. SEÇİM İÇİN KULLANILAN İVME KAYDI VERİ TABANI

İvme kaydı setleri için yapılacak seçimler Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı'nda yer alan kayıtlar arasından yapılmıştır. Seçim için kullanılan veri tabanı Iervolino vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada kullanılan veri tabanı ile aynıdır. Kullanılan ivme kayıtlarının zemin sınıfına göre dağılımı Tablo 2'de verilmiştir. Her bir zemin sınıfı için tanımlanmış hedef spektrum ile uyumlu setlerin oluşturulmasında sadece ilgili zeminde kaydedilmiş ivme kayıtları kullanılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan kayıtların zemin sınıfına göre dağılımı

Yerel Zemin Sınıfı	*İstasyon Sayısı*	*Kayıt Sayısı*
A	393	786
B	640	1280
C	306	612
D	24	48
E	20	40

Tablo 2'de görüldüğü gibi D ve E sınıfı zeminlerde kaydedilmiş sırasıyla 24 ve 20 depreme ait 48 ve 40 yatay bileşen bulunmaktadır. Diğer zemin sınıfları için veri tabanında bulunan ivme kaydı sayısı yanında, D ve E sınıfı zeminler için oldukça azdır. Bu sebeple sadece A, B ve C sınıfı zeminler için ivme setleri oluşturulmuş ve dolayısıyla ivme setleri için seçim A, B ve C sınıfı zeminlerde kaydedilmiş kayıtlar arasından yapılmıştır.

4. İVME KAYDI SEÇİMİ PROBLEMİNİN FORMÜLASYONU:

Elastik ivme tasarım spektrumu ile uyumlu ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi, kısıtlı optimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada minimize edilecek amaç fonksiyonu, dört terimin toplamı şeklinde ifade edilmiştir (Denklem 2).

$$F(\mathbf{x}) = f_1(\mathbf{x}) + g_1(\mathbf{x}) + g_2(\mathbf{x}) + g_3(\mathbf{x}) \tag{2}$$

Denklem 2'de x optimizasyon probleminin karar değişkenlerinin yani ivme kayıtlarının etiketlerinin saklandığı vektörü ifade etmektedir. $f_1(x)$ hedef spektrum $S_e(T)$ ile ivme kaydı setine ait ortalama spektrum $E_m(T)$

arasındaki farkların kareleri toplamı olarak hesaplanmaktadır (Denklem 3). $g_1(x)$, $g_2(x)$ ve $g_3(x)$ ise ivme seçimindeki kriterlerin dikkate alınabilmesi için kullanılan penaltı fonksiyonlarıdır.

$$f_1(\mathbf{x}) = \sum_{T=0.01}^{2.00} \left(E_m(T) - S_e(T)\right)^2 \tag{3}$$

$$E_m(T) = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i(T)}{n} \qquad 0 \le T \le 2 \tag{4}$$

İvme kayıtlarına ait ortalama spektrum ise Denklem 4 ile hesaplanmaktadır. Denklem 4'te $E_i(T)$ her bir ivme kaydına ait spektrum değerini ve n ise setteki ivme kaydı sayısını (bu çalışmada 7) ifade etmektedir.

Optimizasyon problemlerinde eşitlik ya da eşitsizlik formunda ifade edilen kısıtlar bulunmaktadır. Sezgisel algoritmalarda, kısıtların dikkate alınması için kullanılan yaklaşımlardan birisi penaltı yaklaşımıdır. Denklem 2'de verilen $g_1(x)$, $g_2(x)$ ve $g_3(x)$ terimleri çalışmada dikkate alınan kriterlerin optimizasyon probleminde tanımlanabilmesi için kullanılan penaltı fonksiyonlarıdır.

$E_m(T)$'nin T=0 için $S_e(T)$'den küçük olmaması, Eurocode-8'de öngörülen bir kriterdir. Bu kriterin dikkate alınabilmesi için Denklem 5 ile verilen penaltı değeri kullanılmıştır.

$$g_1(\mathbf{x}) = \begin{cases} 0, & E_m(0) \ge S_e(0) \\ 1, & E_m(0) < S_e(0) \end{cases} \tag{5}$$

Periyodun belirli bir aralığında $E_m(T)/S_e(T)$ oranının en az 0.90 olması yine Eurocode-8'de yer alan bir kriterdir. Bu kritere ilave olarak bu çalışmada $E_m(T)/S_e(T)$ oranının en fazla 1.10 olması hedeflenmiştir. Bu kriterlerin dikkate alınabilmesi için Denklem 6 ile verilen penaltı değeri kullanılmıştır.

$$g_2(\mathbf{x}) = \begin{cases} \text{maks}[E(T)/A(T)] - 1.10, & \text{eğer maks}[E(T)/A(T)] > 1.10 \\ 0.90 - \text{min}[E(T)/A(T)], & \text{eğer min}[E(T)/A(T)] < 0.90 \\ 0 \quad , & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{6}$$

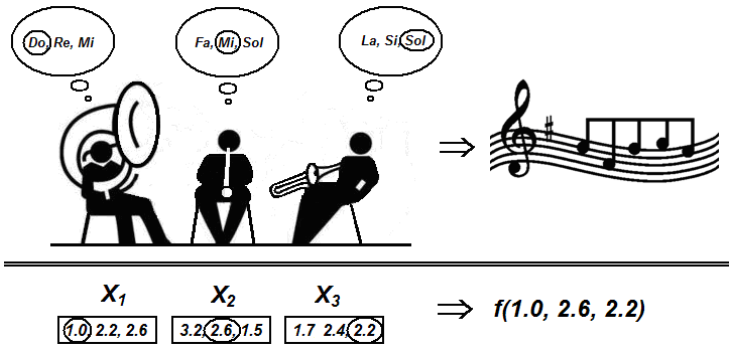
İvme kaydı setleri içerisinde birbiri ile aynı olan ivme kayıtları bulunması durumunda Denklem 7 ile tanımlanmış penaltı değeri kullanılmıştır.

$$g_3(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1, & \text{set içerisinde aynı kayıt iki kez kullanılmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{7}$$

5. ARMONİ ARAŞTIRMASI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

İlk olarak Geem vd. (2001) tarafından geliştirilen armoni araştırması (harmony search) optimizasyon algoritması, bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanır. Armoni araştırması tekniğinde orkestra, ancak tüm orkestra elemanlarının birbirleri ile armonik açıdan uyumlu bir şekilde çalmaları ile en estetik melodiyi elde edebilmektedir. Optimizasyon modellerinde ise en iyi çözüm ancak amaç fonksiyonunun global optimuma giderek yaklaşması sonucu elde

edilebilmektedir. Bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları melodilerle gerçek optimizasyon problemleri arasındaki bağlantının nasıl kurulacağı Şekil 2'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2. Armoni araştırması ile gerçek optimizasyon problemleri arasındaki bağlantı

Şekil 2'de verildiği gibi, orkestrada toplam üç müzisyen bulunmakta ve her müzisyenin belleğinde üçer adet nota bulunmaktadır. Örnek olarak, birinci müzisyenin {Do}, ikinci ve üçüncü müzisyenin ise {Mi} ve {Sol} çalması durumunda {Do, Mi, Sol} kümesi bir armoni oluşturmaktadır. Oluşturulan bu armoni, müzisyenlerin belleklerindeki en kötü armoniden daha iyi ise bu armoni en kötü olanla değiştirilmekte ve bu işlem estetik açıdan en güzel armoni elde edilinceye kadar devam etmektedir. Diğer yandan, optimizasyon problemlerinin çözümü için her bir müzisyenin bir karar değişkeninin yerini alması durumunda, müzisyenlerin belleklerindeki her bir nota o karar değişkenine ait farklı bir çözüme karşılık gelmektedir. Örnek olarak, Şekil 2'de verildiği gibi karar değişkenlerinin belleklerinden {1.0}, {2.6} ve {2.2}'i seçmesi durumunda, yeni bir çözüm vektörü {1.0, 2.6, 2.2} elde edilmektedir. Bu çözüm vektörünün bellekteki en kötü çözümden daha iyi olması durumunda çözümler yer değiştirilmekte ve en iyi çözüm elde edilinceye kadar bu işleme devam edilmektedir.

Diğer sezgisel algoritmalarda olduğu gibi armoni araştırması algoritmasında da 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 aramakta ve bu sayede lokal optimum çözümlerden kurtulabilmektedir. Algoritma rastgele olarak çözümü ararken iki temel prensip kullanmaktadır. Başlangıçtan itibaren belirli bir oran ile (*HMCR*, harmony memory considering rate) hafızanın dikkate alınması ve belirli bir oran ile (*PAR*, pitch adjusting rate) ton ayarlaması. Bu algoritma ile optimizasyon işleminde sürekli değişkenler kullanılabildiği gibi ayrık değişkenlerde kullanılabilmektedir.

Bir optimizasyon probleminin armoni araştırması tekniği ile çözümü aşağıda kısaca verilen beş hesap adımına göre yapılmaktadır:

Adım 1) Problemin kurulması ve çözüm parametrelerinin ayarlanması
Bu adımda optimizasyon problemi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\text{Minimize } F(\mathbf{x}) \qquad x_i \in \left[x_{i,\min}, x_{i,\max}\right] \quad \text{i} = 1,2,3,...,N \tag{8}$$

Denklem 8'de $F(\mathbf{x})$ minimize edilecek amaç fonksiyonunu, $\mathbf{x} = \left[x_1, x_2, \cdots, x_N\right]^{\mathrm{T}}$ karar değişkenleri vektörünü, T transpoze operatörünü ve N karar değişkeni sayısını (bu çalışmada 7) ifade etmektedir. Bu çalışmada $F(\mathbf{x})$, Denklem 2 ile verilen fonksiyondur ve hedef vektör ile ivme kaydı setine ait ortalama vektör arasındaki uyumu temsil eder. **x** karar değişkenleri vektörü ise kullanılan veri tabanından ivme kaydı setine seçilecek kayıtların etiketlerini içermektedir.

Armoni araştırması algoritmasının parametreleri olan armoni belleği kapasitesi (*HMS*), armoni belleği dikkate alma oranı (*HMCR*), ton ayarlama oranı (*PAR*) ve iterasyonların durma koşulu da bu adımda tanımlanmaktadır.

Adım 2) Armoni belleğinin oluşturulması
Bu adımda, tanımlanan çözüm uzayı içerisinden tamamı rastgele olarak üretilmiş karar değişkenleri ve bu karar değişkenleri için amaç fonksiyonunun aldığı değerler ile armoni belleği **HM** doldurulur (Denklem 9). Armoni belleğinin satır sayısı armoni belleği kapasitesi (*HMS*) adlandırılmaktadır.

$$\mathbf{HM}=\left[\begin{array}{ccccc|c} x_1^1 & x_2^1 & \mathsf{L} & x_{N-1}^1 & x_N^1 & F(\mathbf{x}^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \mathsf{L} & x_{N-1}^2 & x_N^2 & F(\mathbf{x}^2) \\ \mathsf{M} & \mathsf{M} & \mathsf{M} & \mathsf{M} & \mathsf{M} & \mathsf{M} \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \mathsf{L} & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} & F(\mathbf{x}^{HMS-1}) \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \mathsf{L} & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} & F(\mathbf{x}^{HMS}) \end{array}\right] \tag{10}$$

Adım 3) Yeni armoni oluşturulması
Bu adımda, yeni çözüm vektörü $\mathbf{x}'=[x_1', x_2', x_3', \cdots, x_N']$ üç kural dikkate alınarak oluşturulur: armoni belleğinin kullanılması, rastgele seçim ve ton ayarlama. Eğer armoni belleği kullanılırsa, karar değişkenlerine ait değer **HM** içerisinden rastgele olarak seçilir ($x_1' \in \left[x_1^1 ... x_1^{HMS}\right]$). *HMCR*'nin değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir ve armoni belleğinin kullanılma olasılığını ifade etmektedir (Denklem 11).

$$x_i' = \begin{cases} x_i' \in [x_i^1 ... x_i^{HMS}] & HMCR \text{ olasılığı ile} \\ x_i' \in [x_{i,\min} ... x_{i,\max}] & (1\text{-}HMCR) \text{ olasılığı ile} \end{cases} \qquad \mathrm{i}=1,2,3,...,N \tag{11}$$

Eğer karar değişkeninin değeri, çözüm uzayı içerisinden değil de **HM** içerisinden seçilirse, seçilen değişken için ton ayarlama işleminin uygulanıp uygulanmama olasılığı da 0 ile 1 arasında değişen *PAR* değişkeni ile kontrol edilmektedir (Denklem 12).

$$x_i' = \begin{cases} x_i' \pm \mathrm{Rand}(0,1) \times bw & PAR \text{ olasılığı ile} \\ x_i' & (1\text{-}PAR) \text{ olasılığı ile} \end{cases} \qquad \mathrm{i}=1,2,3,...,N \tag{12}$$

Denklem 12'de *bw* ton ayarlama işlemi için kullanılan bant genişliğini, Rand(0,1) ise 0 ile 1 arasında değişen ve üniform olarak üretilen gerçek sayıyı temsil etmektedir.

HMCR ve *PAR*, armoni araştırması algoritmasının sırasıyla global ve lokal çözümleri aramasına yardımcı olmaktadır. Armoni araştırması algoritmasının performansının yüksek olması için *HMCR*=0.70-0.95, *PAR*=0.20-0.50 ve *HMS*=10-50 arasındaki değerler tavsiye edimektedir (Lee vd., 2005).

Adım 4) Armoni belleğinin güncellenmesi
Bir önceki adımda oluşturulan yeni armoni vektörü ile armoni belleğindeki en kötü armoni arasında, amaç fonksiyonlarının değerleri bakımından karşılaştırma yapılmaktadır. Eğer yeni armoni vektörüne ait amaç fonksiyonu, bellekteki en kötü armoni vektörüne ait amaç fonksiyonundan daha küçük ise (minimizasyon problemi için) bellekteki en kötü armoni vektörü çıkarılmakta ve yerine yeni oluşturulan armoni vektörü konulmaktadır. Bu şekilde armoni belleği güncellenmiş olmaktadır.

Adım 5) Durma koşulunun kontrol edilmesi
Algoritmanın durması için verilen koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Durma koşulu sağlanıncaya kadar Adım 3 ile Adım 4'te tarif edilen işlemler tekrar edilir.

Bu kısımda armoni araştırması algoritması ve algoritmanın ivme kaydı seçiminde kullanılması ile ilgili olarak kısaca verilen bilgiler çözüm algoritması ve sayısal örneği de içerecek şekilde geniş olarak Kayhan vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada bulunabilir.

6. SAYISAL ÖRNEKLER

Eurocode-8'de A, B ve C sınıfı zeminler için tarif edilen elastik tasarım spektrumları hedef spektrum olarak seçilmiş ve bu spektrumlarla uyumlu olacak şekilde ivme kaydı setleri elde edilmiştir. İvme kaydı setlerinin tamamı, bu çalışmadaki tüm kriterler sağlanacak şekilde elde edilmiştir. Her bir ivme kaydı setinde 7 adet ölçeklendirilmemiş ivme kaydı yer almaktadır. Zemin sınıflarına ait hedef spektrumlar dikkate alınarak ivme kaydı oluşturulurken, sadece ilgili zemin sınıfında kaydedilmiş kayıtlar arasından seçim yapılmıştır.

Armoni araştırması algoritmasının performansının test edilmesi amacıyla, *HMS*, *HMCR* ve *PAR* parametrelerinin Lee vd. (2005) tarafından önerilen aralıktaki farklı değerleri kullanılarak beş parametre seti oluşturulmuştur. Parametrelerin değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Armoni araştırması algoritması parametrelerinin değerleri

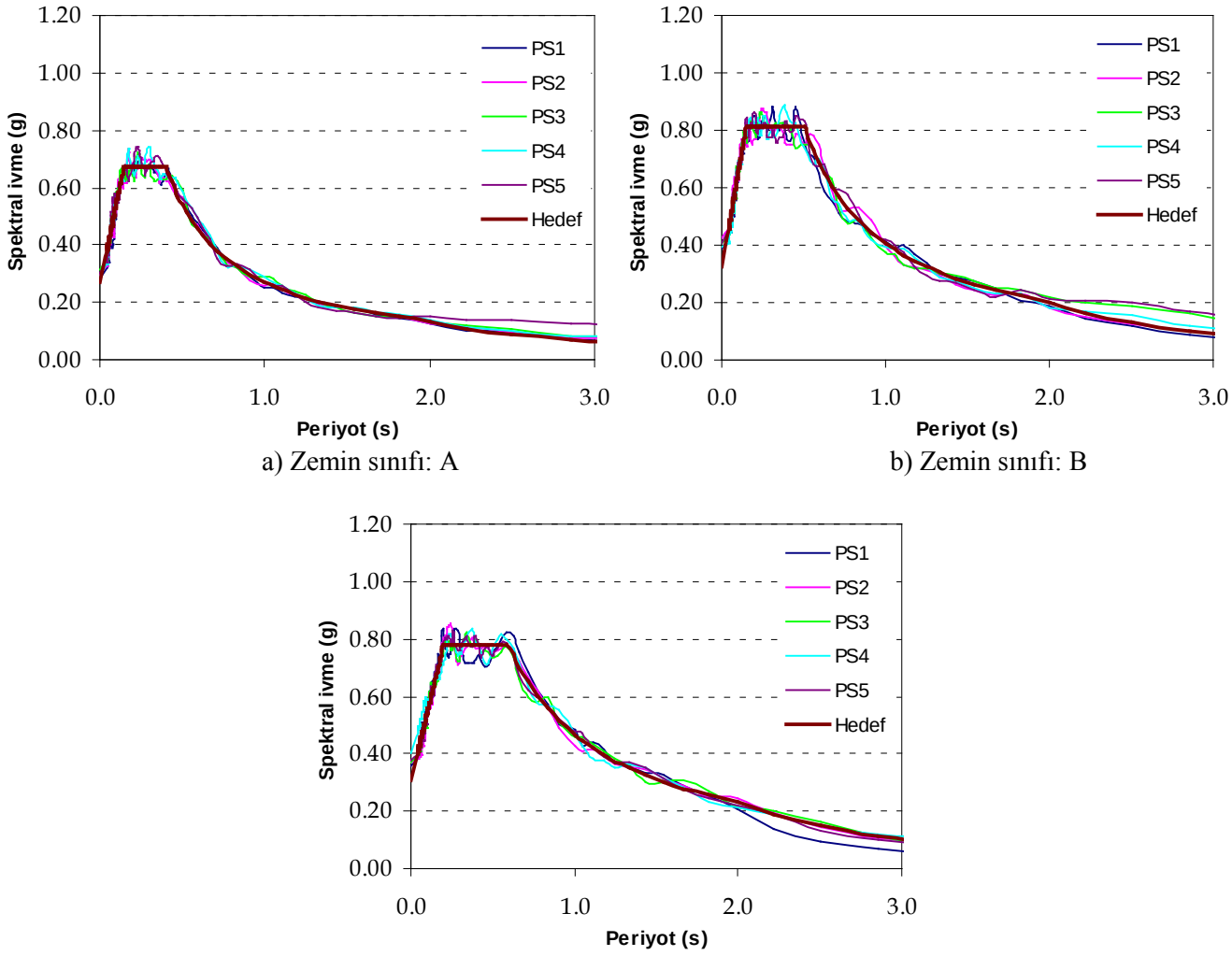
Parametre Seti	*HMS*	*HMCR*	*PAR*
PS1	20	0.90	0.45
PS2	40	0.90	0.45
PS3	30	0.90	0.40
PS4	30	0.80	0.30
PS5	30	0.90	0.30

A, B ve C sınıfı zeminler dikkate alınarak oluşturulan ivme kaydı setlerine ait bilgiler Tablo 4'te verilmiştir. İvme kayıtlarının etiketleri, kaydın x ya da y bileşenlerinden hangisinin kullanıldığı bilgisini de içerecek şekilde verilmiştir. Tablo 4'te görüldüğü gibi her bir zemin sınıfı ve her bir parametre seti için elde edilen ivme kaydı setleri birbirinden farklıdır. Görülmektedir ki, hedef spektrum aynı olsa da algoritmanın her bir çalışmasında birbirinden farklı ivme kaydı setleri oluşmaktadır. Bu durum, armoni araştırması algoritmasının önemli avantajlarından birisidir.

Tablo 4. Zemin sınıfları dikkate alınarak oluşturulan ivme kaydı setleri

A					**B**					**C**				
PS1	*PS2*	*PS3*	*PS4*	*PS5*	*PS1*	*PS2*	*PS3*	*PS4*	*PS5*	*PS1*	*PS2*	*PS3*	*PS4*	*PS5*
5814y	471y	385y	6100x	243x	1935y	1887x	545x	584y	2030x	1973y	6960y	531x	2042x	6919x
6275y	604y	6269y	6269y	6150y	645x	1967x	1925y	6138x	1232y	6604y	374y	900x	772x	4338y
642y	410x	6269x	302x	6269y	48x	478y	477y	1924x	1777y	7046y	7200x	5693x	5793x	6989y
5272y	642y	471y	5085y	5223y	1859y	1922y	5816x	5612x	1879x	133x	571x	203x	374y	6960y
6126x	603y	6174y	1891y	6333y	1880y	478x	295x	2017y	619x	5692x	6919y	704x	1904x	203x
357y	551y	5840y	642y	7158y	1710x	1314y	1922x	7279x	6138x	7085x	492x	122y	1760x	609y
304x	302y	410x	6120y	1243x	300x	184y	5876x	1222x	1250x	1242y	546y	7004x	6927y	122y

A, B ve C sınıfı zeminler dikkate alınarak oluşturulan ivme kaydı setlerine ait ortalama spektrumlar ile hedef spektrumlar arasındaki uyum Şekil 3'te grafik olarak gösterilmiştir.



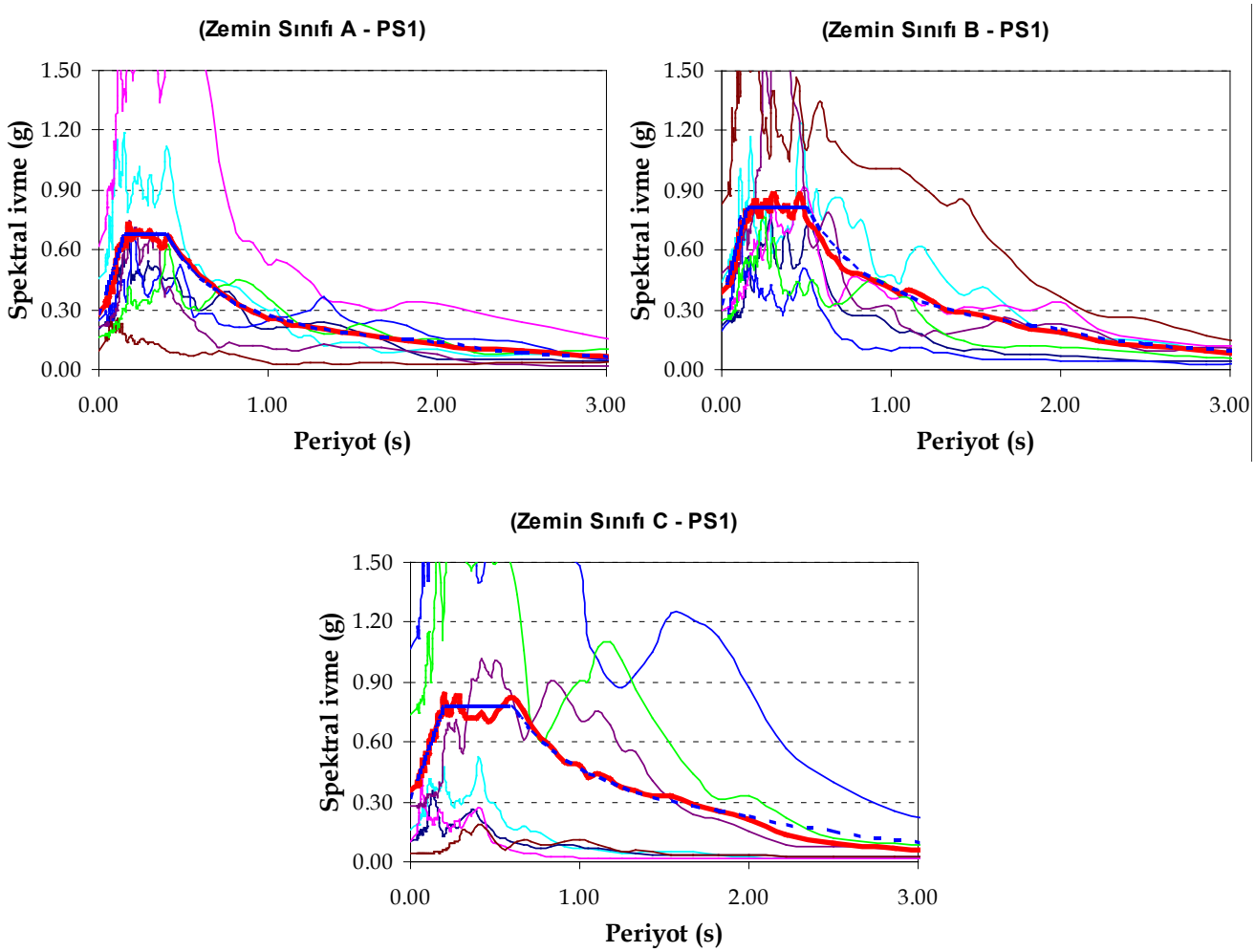
a) Zemin sınıfı: A

b) Zemin sınıfı: B

c) Zemin sınıfı: C

Şekil 3. Zemin sınıfları için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar ve hedef spektrumlar

Seçilen ivme kayıtlarının her birine ait spektrum ile sete ait ortalama spektrumun bir arada görüldüğü iki örnek grafik ise Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te kayıtlara ait spektrumlar ince sürekli çizgi ile, kayıtlara ait ortalama spektrum kalın sürekli çizgi ile ve hedef spektrum ise kalın ve kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Görüldüğü gibi herhangi bir ivme kaydına ait spektrumun hedef spektrum ile uyumlu olması çok zordur ancak birden fazla ivme kaydına ait spektrumların ortalaması hedef spektrum ile istenilen ölçüde uyuma sahip olabilmektedir. Tekrar belirtmekte fayda var ki, hedef spektrum ile uyum amacıyla ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesi de mümkündür ancak bu çalışmada ölçeklendirme yapılmadan da istenilen uyumda ortalama spektrum elde edilebileceği gösterilmiştir.



Şekil 4. Setteki kayıtlara ait spektrumlar ve sete ait ortalama spektrum

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, armoni araştırması optimizasyon tekniği kullanılarak yönetmeliklerde tanımlanmış tasarım spektrumları ile uyumlu ivme kaydı setleri elde edilmiştir. Hedef spektrum olarak Eurocode-8'de A, B ve C sınıfı zeminler için tanımlanmış tasarım spektrumları kullanılmıştır. İvme kaydı setleri, gerçek ivme kayıtlarından ve herhangi bir ölçeklendirme işlemi kullanılmaksızın oluşturulmuştur. Eurocode-8'de tanımlanan ivme kaydı seçim kriterleri, optimizasyon probleminin kısıtları olarak dikkate alınmıştır.

Farklı hedef spektrumlar için ve beş farklı armoni araştırması algoritması parametre seti kullanılarak elde edilen ivme kaydı setlerinin tamamı, çalışmada öngörülen tüm kriterler sağlanacak şekilde elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, armoni araştırması algoritmasının, hedef spektrumlarla uyumlu ortalama spektruma sahip olacak şekilde ölçeklendirilmemiş ivme kayıtlarından oluşan ivme kaydı setlerinin elde edilebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N.A. (1993) Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH, User Manual.

Ambraseys, N.N., Douglas, J., Rinaldis, D., Berge-Thierry, C., Suhadolc, P., Costa, G., Sigbjornsson, R., Smit, P. (2004) Dissemination of European strong-motion data, vol. 2, CD-ROM collection. Engineering and Physical Sciences Research Council, UK.

Bommer, J.J., Acevedo, A.B. (2004) The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis. *Journal of Earthquake Engineering* **8:1**, Special Issue, 43–91.

Boore, D.M. (2003) Simulation of ground-motion using the stochastic method. *Pure and Applied Geophysics* **160**, 635–676.

Bolt, B.A., Gregor, N.J. (1993) Synthesized strong ground motions for the seismic condition assessment of the eastern portion of the San Francisco Bay Bridge. Report UCB/EERC-93/12. University of California, Earthquake Engineering Research Center.

DBYBHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

Eurocode 8 (2004): design provisions of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Part 2: bridges. Final drafts pr EN1998-1 and -2. European Committee for Standardization, Brussels.

Fahjan, Y.M. (2008) Türkiye Deprem Yönetmeliği tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 4423-4444.

Geem, Z.W., Kim, J.H., Loganathan, G.V. (2001) A new heuristic optimization algorithm: Harmony Search. *Simulation* **76 (2)**, 60–68.

Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. (2009) REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 10.1007/s10518-009-9146-1.

Kayhan, A.H., Korkmaz, K.A., Irfanoglu, A. (2011) Selecting and scaling real ground motion records using harmony search algorithm. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **31**, 941-953.

Lee, K.S., Geem, Z.W., Lee, S.H., Bae, K.W. (2005) The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization. *Engineering Optimization* **37(7)**, 663–684.