

# PREFABRİK ENDÜSTRİ YAPILARININ ARMONİ ARAŞTIRMASI YÖNTEMİYLE OPTİMUM TASARIMI

## OPTIMUM DESIGN OF INDUSTRIAL PRECAST BUILDINGS BY HARMONY SEARCH ALGORITHM

Mehmet PALANCI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, 20070, Denizli.  
mehmetpalanci@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 10.02.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 30.04.2013

doi: 10.5505/pajes.2014.74046

### Özet

Bu çalışmada sezgisel armoni araştırma optimizasyon tekniği ile Türkiye’de çoğunlukla tek katlı olarak inşa edilen prefabrik endüstri yapıların tasarımının yapılabildiği bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışmada, 6 metre yüksekliğinde ve 3 açıklığa sahip tipik bir prefabrik bina Deprem Yönetmeliği ve Türk Standartları dikkate alınarak farklı zeminler için boyutlandırılmıştır. Geliştirilen çözüm yaklaşımının duyarlılığını test etmek amacıyla beş farklı parametre grubu ile çok sayıda analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, armoni araştırması optimizasyon tekniği ile verilen tüm kısıtların sağlanarak yönetmelik uyumlu optimum tasarımının yapılabildiğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Prefabrik binalar, Armoni araştırması, Optimum tasarım.

### Abstract

In this study, a solution model that can design precast industrial buildings, mostly constructed one-storey in Turkey, is developed using heuristic harmony search (HS) algorithm. In the study, 6 m high and 3 spans typical precast building is designed for different soil types by considering the Turkish Earthquake Code and standards. In order to examine sensitivity of developed solution model, numerous analyses performed with five different parameter groups. Results indicate that code compliant optimum precast building design can be made with HS algorithm providing all given constraints.

**Keywords:** Precast buildings, Harmony search, Optimum design.

## 1 Giriş

Büyük açıklıkların geçilmesine imkan vermesi, inşaat süresinin kısa olması ve inşaat sürecinin mevsimsel şartlardan etkilenmemesi gibi avantajlar sebebiyle, prefabrik yapılar ülke genelinde yaygın olarak kullanılan bir yapı türüdür. Bu yapılar özellikle sanayi bölgelerinde, büyük çoğunluğu tek katlı ve birleşimleri mafsallı olarak inşa edilirler [1]. 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra bu yapıların önemli bir oranı hasar görmüş veya yıkılmıştır. Yaşanan bu felaketler sebebiyle bu yapıların hesap esasları, deprem etkileri altında davranışı vb. gibi konuları kapsayan pek çok çalışma yapılmıştır [2]-[4]. 2007 yılına gelindiğinde ise bu yapıların tasarımı ile hükümlere son şekli verilmiştir. Yapılan tüm bu çalışmalar, ülke ekonomisine ve iş istihdamına katkısı olan bu yapıların tasarımının önemine işaret etmektedir.

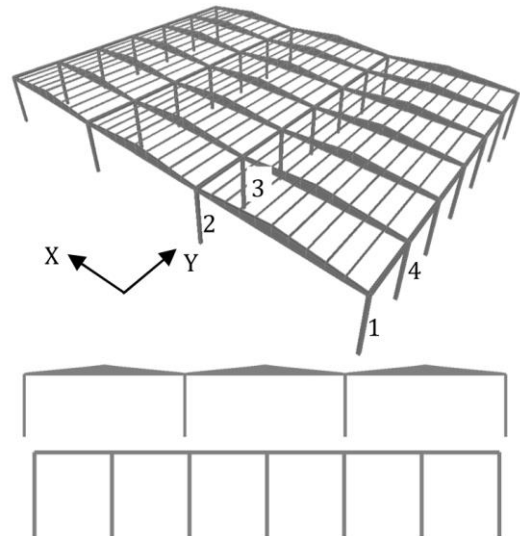
Son yıllarda farklı alanlardaki pek çok mühendislik probleminin çözümünde sezgisel optimizasyon teknikleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [5]-[11]. Yapılan bu çalışmalar, önemli mühendislik problemlerinden biri olan prefabrik sanayi yapılarının tasarımı için de bu tekniklerin kullanılabilirliğini göstermiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan ve yapıların optimum tasarımından su dağıtım şebekelerinin tasarımına dek pek çok alan çalışma yapılmış [12]-[15], tekniklerinden biri de armoni araştırması tekniğidir. Diğer sezgisel optimizasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında bu tekniğin en önemli avantajlarından biri uzman olmayan kişiler tarafından da kolayca programlanabilir olmasıdır.

Bu çalışmada, makas doğrultusunda 3 açıklıklı ve 6 m yüksekliğindeki tipik bir prefabrik sanayi yapısının iyi ve kötü zeminler üzerindeki tasarımı için armoni araştırması optimizasyon tekniğine dayanan bir çözüm yaklaşımı

geliştirilmiştir. İlgili yaklaşım kapsamında yapılan çözümlerin tümünde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007), [16] ve Türk Standartları [17]-[19] dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, prefabrik yapıların optimum tasarımı için geliştirilen çözüm yaklaşımının etkin bir şekilde kullanılabilirliğini göstermiştir.

## 2 Problem Formülasyonu

Çalışmada kullanılan tek katlı ve mafsallı prefabrik yapının görünümü şematik olarak Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Tipik tek katlı prefabrik sanayi yapısı ve çerçeveleri (Üst: 3 boyutlu model, Orta: X yönü düzlem çerçeve, Alt: Y yönü düzlem çerçeve).

Tek katlı prefabrik sanayi yapılarında çatı düzlemindeki bağlantıların mafsallı olması sebebiyle, çerçeveler birbirinden bağımsız olarak hareket etmektedir. Dolayısıyla prefabrik sanayi yapılarının analizi için düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınmaktadır. Bu durumda prefabrik sanayi yapısı dört çerçeve ile temsil edilebilir: X yönünde iç ve dış çerçeveler (X-iç ve X-dış) ile Y yönünde iç ve dış çerçeveler (Y-iç ve Y-dış). X-iç çerçevesi 3 ve 4' nolu kolonlardan, X-dış çerçevesi ise 1 ve 2' nolu kolonlardan oluşmaktadır. Benzer şekilde Y-iç çerçevesi 2 ve 3' nolu kolonlardan, Y-dış çerçevesi 1 ve 4' nolu kolonlardan oluşmaktadır. Şekil 1' de verilen yapının X ve Y yönünde 2 adet dış çerçevesi var iken X yönünde 5, Y yönünde 2 adet iç çerçevesi bulunmaktadır.

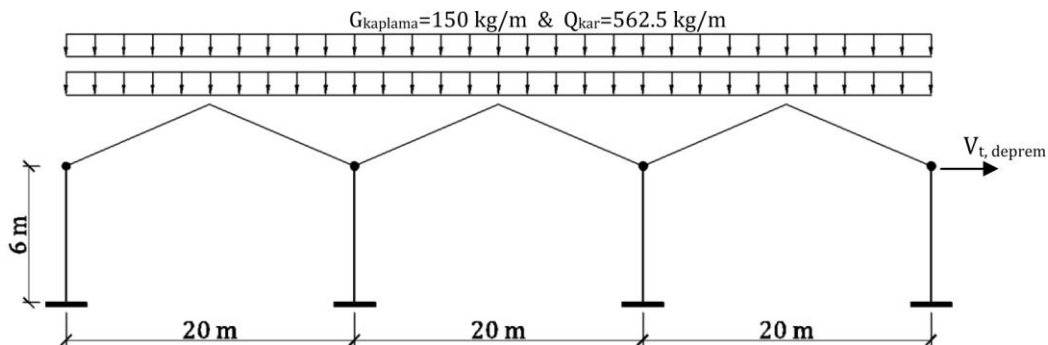
Armoni araştırması optimizasyon tekniği ile yapılan çözümlerde bazı yapısal elemanların özellikleri sabit kabul edilmiştir. Örneğin, makas ve aşık uzunluklarının tamamı sırasıyla 20 m ve 7.5 m alınmış ve her makasa 9 adet aşığın oturduğu kabul edilmiştir. Ayrıca bir adet makasın ağırlığı ( $g_{makas}$ ) 5.1 ton ve bir aşığın ağırlığı ( $g_{asik}$ ) 0.29 ton alınmıştır.

Binanın çatısında kullanılan kaplamanın ağırlığı  $25 \text{ kg/m}^2$  ve kar yükü (hareketli yük)  $75 \text{ kg/m}^2$  olarak alınmıştır. Sonuçta tasarım için binaya etkiyen düşey ve yatay yükler X-iç çerçevesi için hesaplanmış ve şematik olarak Şekil 2' de gösterilmiştir. X-iç çerçevesi için yapılan hesaplamalar diğer çerçeveler içinde ayrı ayrı yapılmış ve algoritma ile çözüm sırasında dikkate alınmıştır. Şekilde verilen yatay ( $V_{t,deprem}$ ) yükün hesabı için Denklem (1) kullanılmıştır [16].

$$V_{t,deprem} = \frac{A_0 I S(T)}{R} \cdot W \quad (1)$$

Prefabrik sanayi yapılarının büyük bir çoğunluğunun birinci derece deprem bölgelerinde inşa edilmesi sebebiyle etkin yer ivmesi ( $A_0$ ) 0.4 ve bina önem katsayısı ( $I$ ) 1 alınmıştır. Denklem (1)' de yer alan taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ) deprem yönetmeliğinde yer alan "deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar" ifadesine göre 3 alınmıştır. Denklemde yer alan  $S(T)$ ' nin hesabı için bina periyodunun ( $T_{bina}$ ) hesaplanması ve zemin karakteristik periyotlarının ( $T_A$ ,  $T_B$ ) belirlenmesi gerekir. Tasarımlar sırasında farklı zemin özelliklerini dikkate almak amacıyla deprem yönetmeliğinde [16] yer alan zemin sınıflarından yararlanılmış ve zemin karakteristik periyotları iyi zeminlerde (Z1)  $T_A=0.1s$ ,  $T_B=0.3s$ , kötü zeminlerde (Z4)  $T_A=0.2s$ ,  $T_B=0.9s$  alınmıştır. Bina periyodunun ( $T_{bina}$ ) hesabı için ise Denklem (2) kullanılmıştır.

$$T_{bina} = 2\pi \sqrt{\frac{m_{bina}}{K_{bina}}} \quad (2)$$



Şekil 2: X-iç çerçevesi boyutları ve çerçeveye etkiyen düşey ve yatay yüklerin şematik olarak gösterimi.

Denklem (2)'de yer alan  $m_{bina}$  bina kütesini,  $K_{bina}$  ise bina rijitliğini temsil etmektedir. Bina ağırlığı ise ölü ve hareketli yükler dikkate alınarak Denklem (3)-(5) ile hesaplanmıştır. Denklem (3)'te beton birim hacim ağırlığı ( $\gamma_{beton}$ )  $2.5 \text{ t/m}^3$ ,  $B$ ,  $H$  ve  $L$  ifadeleri ise kolon boyutlarını ve kolon yüksekliğini (bina yüksekliği) ifade etmektedir. Denklem (5)'te yer alan  $n$  ise deprem yönetmeliği [16] göz önünde alınarak 0.3 alınmıştır.

$$G = \sum_{i=1}^{ks-1} (g_{i,makas} + 9 \cdot g_{i,asik}) + \sum_{i=1}^{ks} (\gamma_{beton} B_i \cdot H_i \cdot L_i) + G_{kaplama} \quad (3)$$

$$Q = Q_{kar} \quad (4)$$

$$W_{bina} = G + n \cdot Q \quad \& \quad m_{bina} = \frac{W}{g} \quad (5)$$

Denklem (2)'deki diğer bir ifade olan  $K_{bina}$ 'ın hesabı için mafsallı prefabrik sanayi yapılarının davranışı esas alınmıştır. Tek katlı prefabrik sanayi yapılarının kolon uçlarından mafsallı olarak tasarlanması sebebiyle yapıdaki kolonların konsol davranışı göstermektedir. Bu özellikten yararlanarak her kolon rijitliği Denklem (6) kullanılarak hesaplanabilir. Denklem (6)'daki elastisite modülü  $TS-500$  [17]'de verilen Denklem (7) ile hesaplanmıştır. Kolon atalet momenti ise Denklem (8) ile hesaplanabilmektedir.

$$k_i = \frac{3EI_i}{L_i^3} \quad (6)$$

$$E = 3250 \sqrt{f_{ck}} + 14000 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (7)$$

$$I_i = \frac{1}{12} B_i H_i^3 \quad (8)$$

Sonuçta, kolon rijitliklerinin toplanması ile bina rijitliği elde edilir (Denklem (9)).

$$K_{bina} = \sum_{i=1}^{ks} k_i \quad (9)$$

## 2.1 Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi

Prefabrik yapıların rijitliği ve periyodu yapıda kullanılan betonarme kolonların boyutları ile doğrudan alakalıdır. Bu nedenle geliştirilen yaklaşımda optimizasyon modelinin ilk karar değişkeni olarak kolon boyutları alınmıştır. Çalışmada kullanılan kolon boyutları kesikli (ayrık) değişken olarak alınmış ve maksimum ve minimum boyutlar Denklem (10)'da gösterilmiştir. Denklemde de anlaşılacağı gibi tasarımlarda kare kesitli kolonlar kullanılmıştır.

$$350 \leq B = H \leq 650 \text{ (mm)} \quad (10)$$

Kolon boyutlarının belirlenmesinin ardından dikkate alınması gereken diğer bir husus ise kolonlardaki donatı yüzdesinin ne olacağıdır. Bu yapılardaki kolonların konsol davranması ve yüksek olmasından dolayı eğilme momentleri yüksektir. Yüksek momentler sebebiyle de donatı oranları artmaktadır. DBYBHY 2007, [16]'de betonarme kolonlarda kullanılacak minimum ve maksimum donatı oranları % 1-% 4 olarak verilmiştir. Söz konusu durum göz önüne alınarak boyuna donatı oranı maksimum ve minimum aralığında kesikli karar değişkeni olarak alınmıştır. Bu noktada hatırlatılması gereken durum çözüm algoritması ile tasarımlar gerçekleştirilirken seçilen boyuna donatı oranının tüm kolonlarda eşit olması sağlanmıştır.

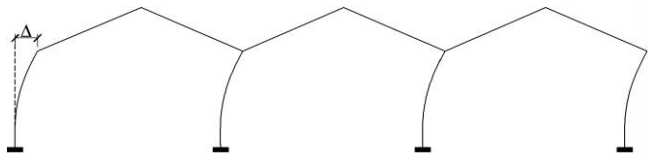
Tasarımlar sırasında kullanılan diğer bir değişken ise beton sınıfıdır. Prefabrik yapıların ön üretimli ve kalite kontrolünün yapılması sebebiyle bu yapılarda kullanılan beton kalitesi yüksektir. Fakat çalışmada daha geniş bir beton sınıfı aralığını alabilmek amacıyla beton sınıfı kesikli karar değişkeni olarak 20-30 MPa arasında alınmıştır.

Algoritma ile çözüm sürecinde boyuna ve enine donatı malzemesi sınıfı S420 ( $f_{yk}=420$  MPa) alınmıştır. Yönetmelik ve standartlarda, tasarımı yapılan binalarda kullanılacak beton ve donatı malzemeleri için belirli bir emniyet payı verilmiş ve tasarımlarda emniyet katsayılarına bölünmüş malzeme özelliklerinin kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Bu sebeple tasarımlar sırasında TS-500 [17]'de verilen beton ve donatı için emniyet katsayıları sırasıyla 1.5 ve 1.15 alınmıştır.

Sonuçta prefabrike sistemler için yönetmelik ve standartlar tarafından getirilen yük kombinasyonları oluşturulmuş ve kolonlar algoritma ile çözüm sırasında ele alınan malzeme ve kesit özelliklerine göre tasarımılandırılmıştır.

## 2.2 Tasarım Kısıtlarının Belirlenmesi

Prefabrik yapıların tasarımı sırasında karşılaşılan en önemli kısıtlardan biri de deplasman sınırıdır. Tek katlı prefabrik bir yapının tipik yer değiştirme görünüşü Şekil 3'te verilmiştir.



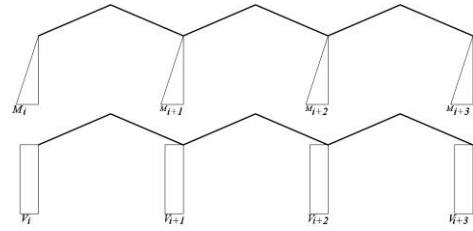
Şekil 3: Tek katlı prefabrik sanayi yapısının deplasman profili.

DBYBHY-2007'de, her deprem doğrultusu için etkin görelî kat ötelenmesi Denklem (11) kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerin ise binanın herhangi bir katında ise 0.02 değerinden küçük olması gerekmektedir.

$$\frac{R\Delta}{L} \leq 0.02 \quad (11)$$

Denklemde yer alan ( $\Delta$ ) Şekil 3'ten de görüldüğü gibi binanın ilgili deprem yönündeki yer değiştirme talebini ifade etmektedir. Denklemde yer alan " $L$ " ise bina yüksekliğidir ve çalışmada 6 m olarak alınmıştır. Bu durum tasarımlar sırasında kısıt olarak alınmış ve her iki yönde kontrol edilmiştir.

Yapıların tasarımındaki en önemli kısıtlardan biri de taşıyıcı elemanların deprem ve statik yüklerden dolayı oluşan zorlanmaları karşılamak zorunda olmasıdır. Şekil 4'te tek katlı tipik bir prefabrik yapıda meydana gelebilecek moment ve kesme kuvveti diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4: Yatay yük sonucu yapıda meydana gelen zorlanmalar (üst: moment diyagramı, alt: kesme kuvveti diyagramı).

Şekil 4'den görüldüğü gibi taşıyıcı elemanların oluşacak bu kesit zorlanmalarına en az eşit veya daha yüksek kapasiteye sahip olması gerekmektedir (Denklem (12)). Bu yüzden, bu tasarım kriteri göz önüne alınmış ve algoritmaya kısıt olarak eklenmiştir.

$$\forall M_{i,kapasite} \geq M_{i,statik} \quad \& \quad \forall V_{i,kapasite} \geq V_{i,statik} \quad (12)$$

Kolonların statik ve deprem yükleri altında tasarımından sonra her kolonun moment kapasitesinden dolayı doğacak kesme değeri hesap edilmiş ve kesme kapasitesi ile kıyaslanmıştır (Denklem (13)).

$$\forall V_{e,i} = \frac{M_{i,kapasite}}{L_{kolon}} \quad \& \quad \forall V_{r,i} - V_{e,i} \geq 0 \quad (13)$$

Taşıyıcı elemanların kesme kapasitesi Denklem (14) kullanılarak hesaplanmıştır. İlgili denklemde yer alan  $V_c$  ve  $V_w$  sırasıyla betonun ve enine donatının kesme kapasiteleridir. Sonuçta Denklem (13)'te verilen ifade de geliştirilen çözüm yaklaşımında kısıt olarak göz önüne alınmıştır.

$$V_{r,i} = V_{c,i} + V_{w,i} \quad (14)$$

## 2.3 Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi

Bir mühendislik problemi olan prefabrik yapıların tasarımına ilişkin karar değişkenlerinin ve kısıtlarının belirlenmesinden sonra problemin matematiksel ifadesi yani amaç fonksiyonunun tanımı yapılmıştır. Bu çalışmada, minimum kesit ve malzeme (boyuna donatı, beton sınıfı) kullanılarak yönetmelik koşullarını sağlayan bir prefabrik binanın optimum tasarımı hedeflenmiş ve fonksiyon Denklem (15)'te verildiği gibi oluşturulmuştur. Fonksiyonun, karar değişkenleri arasındaki değer farklılıklarından etkilenmemesi amacıyla (çözüm sürecinde etkili) armoni ile araştırma sürecinde seçilen karar değişkeni o karar değişkeninin en büyük değerine bölünerek normalizasyonu sağlanmıştır. Karar değişkenlerinin sınırları ise Denklem (16)-(18)'de verilmiştir.

$$AF = \sum_{i=1}^{ks} \left( \frac{B_i}{B_{maks}} \right) + \frac{\rho_l}{\rho_{l,maks}} + \frac{f_{ck}}{f_{ck,maks}} + \alpha(g_1 + g_2) \quad (15)$$

Kısıtlar:

$$350 \leq B_i \leq 650 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, ks \text{ (mm)} \quad (16)$$

$$\% 1 \leq \rho_l \leq \% 4 \quad (17)$$

$$20 \leq f_{ck} \leq 30 \text{ (MPa)} \quad (18)$$

Denklem (15)'te yer alan  $g_1$  ve  $g_2$ , penaltı değerleridir ve her kısıt için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Ayrıca denklemde  $\alpha=1$  alınmış böylece optimizasyon tekniği ile araştırma sürecinde amaç fonksiyonu, penaltı değeri kadar büyütülerek kriterlerin sağlanmadığı durumlarda, yani çözüm uzayının dışındaki

bölgeden tekrar çözüm uzayının içerisine geçişi sağlanmaya çalışılmıştır.

$$g_1 = \begin{cases} 1, & \frac{R\Delta}{L} > 0.02 \text{ ise} \\ 0, & \frac{R\Delta}{L} \leq 0.02 \text{ ise} \end{cases} \quad (19)$$

Denklem (19), prefabrik binalar için istenen yer değiştirme kriterinin sağlanmadığı durumlar için kullanılmış ve penaltı değeri 0 veya 1 alınarak hedef fonksiyonuna eklenmiştir.

İkinci penaltı fonksiyonu ise Denklem (20)'de verilmiştir. Denklem (20), esasen Denklem (12) ve Denklem (13)'te verilen şartların kontrolünün sağlanması için kullanılmıştır. Tasarımda aranan şartların sağlanmaması durumunda ilgili fonksiyona 1 değeri verilerek amaç fonksiyonu penaltı yani cezaya maruz kalmaktadır.

$$g_2 = \begin{cases} 0, & \forall i = 1, 2, \dots, ks \text{ için } M_{i,kapasite} > M_{i,statik} \ \& \ V_{r,i} > V_{e,i} \text{ ise} \\ 1, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (20)$$

### 3. Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği

Armoni araştırması optimizasyon tekniği ilk olarak Geem ve diğ. [7] tarafından geliştirilmiştir. Bu optimizasyon tekniği, bugüne kadar birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmıştır. Armoni araştırma optimizasyon tekniği, bir orkestrada yer alan müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır. Optimizasyon modellerinde ise en iyi çözüme amaç fonksiyonunun global optimuma gidilebilmesi ile varılmaktadır. Bu yöntemi avantajlı kılan yönleri ise: 1) Karar değişkenleri için özel bir başlangıç çözümü tanımlanmasına gerek kalmaması; 2) Birden çok çözümle optimizasyon işlemine devam ettiği için lokal optimum çözümlerine takılmaktan kurtulabilmesi; 3) Hem sürekli hem de ayırık değişkenler için kullanılabilirliği. Armoni araştırması tekniği ile bir optimizasyon probleminin çözümü aşağıda verilen beş hesap adımına göre yapılmaktadır:

#### 3.1 Problemin Belirlenmesi ve Çözüm Parametrelerinin Ayarlanması

İlk adımda, optimizasyon problemi tanımlanmaktadır, aşağıda örnek bir tanımlama verilmiştir.

$$\min\{f(x)\} \quad x_i \in [x_{i,\min}, \&, x_{i,\max}] \quad i=1,2,3,\dots, N \quad (21)$$

Burada  $f(x)$  minimize edilecek amaç fonksiyonunu,  $x_i$  karar değişkenlerini,  $x_{i,\min}$ , ve  $x_{i,\max}$  sırasıyla karar değişkenlerinin alt ve üst sınır değerlerini,  $N$  ise karar değişkeni sayısını göstermektedir. Bu adımda ayrıca armoni belleği kapasitesi (HMS), armoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR), ton ayarlama oranı (PAR) ve maksimum iterasyon sayısı gibi büyüklükler de verilmektedir.

#### 3.2 Armoni Belleğinin Oluşturulması

Bu adımda, verilen çözüm uzayı içerisinden tamamı rastgele olarak üretilmiş karar değişkenleri için amaç fonksiyonu değerleri hesaplanarak armoni belleği Denklem (22)'de verildiği gibi doldurulur.

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \vdots \\ f(x^{HMS-1}) \\ f(x^{HMS}) \end{bmatrix} \quad (22)$$

#### 3.3 Yeni Armoninin Oluşturulması

Bu adımda, yeni armonide yer alacak olan her değişkenin üretimi  $x'=(x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$ , 3 kurala göre uygulanır: (1) armoni belleğinin kullanılması, (2) ton ayarlama, (3) rastgele seçim. Değişkenlerin armoni belleğinin içerisinden seçilip seçilmeyeceği ise, değeri 0 ile 1 arasında seçilen HMCR oranına göre yapılmaktadır. HMCR, bir karar değişkeni için armoni belleğinden seçilme olasılığı gösterirken, (1-HMCR) yeni karar değişkeninin mevcut çözüm uzayı içerisinden rastgele olarak seçilmesine karşılık gelmektedir. Seçim işleminin nasıl yapıldığı Denklem (23)'te verilmiştir.

$$x'_i = \begin{cases} x_i \in [x_i^1, \dots, x_i^{HMS}] & \text{HMCR olasılığı ile} \quad i=1,2,3,\dots,N \\ x_i \in [x_{i,\min}, \dots, x_{i,\max}] & \text{(1-HMCR) olasılığı ile} \end{cases} \quad (23)$$

Bu aşamadan sonra armoni belleğinden seçilen karar değişkenlerinin ton ayarlama işlemine tabi tutulup tutulmayacağına karar verilir. Bu işlem ise ton ayarlama oranı (PAR) ile kontrol edilir. Ton ayarlama işlemi Denklem (24)'te verildiği şekilde yapılmaktadır.

$$x'_i = \begin{cases} x_i \mp Rand(0,1) * bw & \text{PAR olasılığı ile} \\ x_i & \text{(1-PAR) olasılığı ile} \end{cases} \quad (24)$$

Burada  $bw$  ise ton ayarlama için seçilen bant genişliğini,  $Rand(0,1)$  ise değeri 0 ile 1 arasında değişen uniform rasgele sayıyı ifade etmektedir. Denklem (23) ve (24)'de yer alan HMCR ve PAR parametreleri, algoritmanın sırasıyla global ve lokal optimum çözümleri elde etmesi amacıyla kullanılmaktadır. Literatürde HMCR ve PAR parametreleri için sırasıyla 0.70-0.95 ve 0.20-0.50 arasında ve armoni belleği kapasitesi (HMS) için 10-50 arasındaki değerlerin seçilmesi önerilmektedir [13].

#### 3.4 Armoni Belleğinin Güncellenmesi

Bu adımda, yeni oluşturulan armoni ile bellekteki en kötü armoni arasındaki amaç fonksiyonlarının değerleri karşılaştırılır ve eğer yeni armoni bellekte bulunan en kötü armoniden daha iyi sonuç verir ise en kötü armoni bellekten çıkarılarak yerine yeni armoni vektörü atanır.

#### 3.5 Durma Koşulunun Kontrolü

Bu adımda, verilen durma koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Koşulun sağlanmaması durumunda 3. adım ile 5.adım arasındaki işlemler istenen koşul sağlanıncaya kadar tekrar edilir.

Çalışma kapsamında ele alınan problemin armoni araştırması optimizasyon tekniği ile çözümü adım adım maddeler halinde aşağıda verilmiştir. Tasarım için hazırlanan bu çözüm yaklaşımı yaygın olarak kullanılan elektronik tablolama programlarından biri olan Microsoft Excel'in arka planında çalışan Visual Basic [20] programla dili kullanılarak hazırlanmıştır.

##### Adım 1. Başla

##### Adım 2. Problem Parametrelerini Tanımla (Başlık 3.1)

- Karar değişkenleri ve sayısı,
- Karar değişkenlerinin maksimum ve minimum değerlerini belirle,
- Amaç fonksiyonu,
- Kısıtlar,
- Armoni parametrelerinin tanımla (HMS, HMCR, PAR).

##### Adım 3. Armoni belleğini rasgele doldur ve HMS adet vektör için amaç fonksiyonunun değerini hesapla (Başlık 3.2)



- Adım 4.** Yeni armoniyi oluştur (Başlık 3.3)
- Adım 5.** Yeni armoniyi vektörünü bellekteki en kötü vektör ile karşılaştır. Eğer yeni armoni en kötü armoniden iyi ise Adım 6'ya geç, değilse Adım 7'ye atla.
- Adım 6.** Yeni çözüm vektörünü en kötü çözüm vektörünün yerine koy (Başlık 3.4)
- Adım 7.** Durma koşulunu kontrol et, sağlanıyorsa Adım 8'e git, sağlanmıyorsa Adım 4'e dön. (Başlık 3.5)
- Adım 8.** DUR

#### 4 Sayısal Uygulama

Çalışma kapsamında birinci derece deprem bölgesinde bulunan iyi ve kötü zemin (Z1 ve Z4) grupları üzerinde inşa edilen prefabrik binanın tasarımı, geliştirilen çözüm yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan optimizasyon tekniğine ait çözüm parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisini test etmek amacıyla farklı HMS, HMCR ve PAR değerlerinden oluşan 5 farklı parametre grubu rastgele oluşturulmuş ve Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca kullanılan algoritma ile elde edilen sonuçların kararlılığını test etmek amacıyla her parametre grubu farklı başlangıç çözümlerini içerecek şekilde 30 kez çalıştırılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak özetlenmiştir. Sonuçta, her iki zemin grubu için toplam 300 analiz gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analizlerin tümünde maksimum iterasyon sayısı 10,000 olarak seçilmiştir. Analizler 64bit işletim sisteminde 2.30 GHz Intel i5-2410M işlemci ve 4GB ram belleğe sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1: Çözüm algoritmasında kullanılan armoni parametreleri.

Parametre/Grup	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
HMS	20	40	30	30	30
HMCR	0.9	0.9	0.90	0.90	0.80
PAR	0.4	0.4	0.30	0.50	0.30

#### 4.1 Prefabrik Sanayi Yapısının İyi Zemin (Z1) Sınıfı Üzerinde Tasarımı

Z1 zemin sınıfı için yapılan analizler neticesinde tasarımı yapılan prefabrik binanın bütün parametre gruplarında tüm kısıtları sağladığı belirlenmiştir. Tablo 2'de Z1 zemin sınıfı üzerinde inşa edilen prefabrik sanayi yapısının her parametre grubu için elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin en iyi, en kötü, ortalama ve standart sapması değerleri verilmiştir.

Tablo 2: Parametre grubuna göre Z1 zemin sınıfı için elde edilen sonuçlar.

Sonuç/ Grup	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
En kötü	1.575	1.569	1.584	1.583	1.574
En iyi	1.559	1.559	1.559	1.559	1.559
Ortalama	1.566	1.564	1.568	1.567	1.567
Std. Sap. (%)	0.583	0.533	0.734	0.699	0.464

Tablo 2'den de görüldüğü gibi her parametre grubu için elde edilen en kötü sonuçların parametre grubuna göre değişkenlik gösterdiği fakat görece olarak birbirlerinden uzak olmadığı görülmektedir. Tablo 2'de verilen en iyi amaç fonksiyonu değerleri tüm parametre gruplarında aynıdır. Ayrıca parametre gruplarından elde edilen sonuçların ortalamalarının birbirine oldukça yakın olması uygulanan

çözüm algoritmasının kararlılığının bir göstergesidir. Amaç fonksiyonlarının değerleri arasında standart sapmanın en düşük elde edildiği parametre grubu her ne kadar PG5 grubu olsa da standart sapma değerinin tüm gruplarda %1'in altında olduğu görülmektedir.

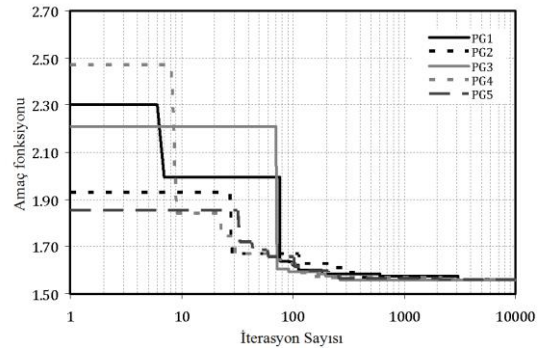
Yapılan analizler neticesinde tüm parametre gruplarında elde edilen optimum tasarımın karar değişkenlerinin değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Z1 zemin sınıfı için elde edilen en iyi amaç fonksiyonuna karşılık gelen bina tasarım sonuçları.

Karar değişkenleri	
Boyuna don. Oranı ( $\rho_l$ )	%1.26
1'nolu kolon boyutu ( $B_1$ )	350
2'nolu kolon boyutu ( $B_2$ )	350
3'nolu kolon boyutu ( $B_3$ )	450
4'nolu kolon boyutu ( $B_4$ )	350
Beton sınıfı ( $N/mm^2$ )	20

Şekil 5'te ise her parametre grubunda elde edilen yakınsama grafikleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi amaç fonksiyonu değerlerinin özellikle 1000 iterasyon sonucunda birbirine oldukça yaklaşmaktadır.

Daha önceden de belirtildiği gibi prefabrik endüstri sanayi yapılarının yüksek ve birleşimlerinin mafsallı olması özellikle kesme etkilerinin düşük olmasına neden olmakta ve kesme ile ilgili kriterleri çoğunlukla yönetmelikte yer alan minimum şartlar belirlemektedir. Analizler sonucunda elde edilen tüm tasarımlardaki yatay donatı aralıkları 100 mm ve 8 mm çapında donatı kullanılarak tasarımılandırılmıştır.



Şekil 5: Z1 zemin sınıfı için tasarım yakınsama grafiği.

İyi zemin üzerinde yapılan analizler, kolon boyutlarının belirlenmesinde özellikle yapıda meydana gelen zorlanmaların etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca tasarımlarda kritik olan kesitlerin, iç çerçevelerden elde edildiği belirlenmiştir.

#### 4.2 Prefabrik Sanayi Yapısının Kötü Zemin (Z4) Sınıfı Üzerinde Tasarımı

Çalışmanın bu bölümünde ise kötü zemin üzerine inşa edilen yapının geliştirilen çözüm yaklaşımı ile tasarımı yapılmıştır. Böylece hem farklı zeminler üzerine inşa edilen yapılar arasındaki yapısal farklılar tespit edilmiş hem de armoni araştırma tekniğine ait farklı çözüm parametrelerinin herhangi bir zemin sınıfı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Yapılan analizlerde incelenen prefabrik sanayi yapısının her parametre grubu için elde edilen amaç fonksiyonu değerlerinin en iyi, en kötü, ortalama ve standart sapması karşılaştırmalı olarak Tablo 4'te verilmiştir. Analizler

sonucunda tüm kısıtların bütün gruplarda sağlandığı ve yapısal tasarımların gerçekleştirildiği belirlenmiştir.

Tablo 4: Parametre grubuna göre Z4 zemin sınıfı için elde edilen global sonuçlar.

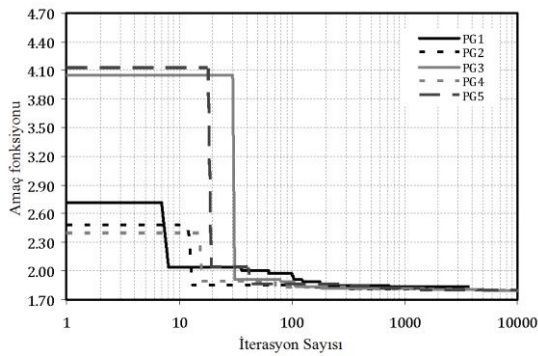
Sonuç/ Grup	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
En kötü	1.863	1.856	1.887	1.871	1.861
En iyi	1.798	1.798	1.798	1.798	1.798
Ortalama	1.836	1.825	1.830	1.828	1.823
Std. Sap. (%)	2.557	2.000	2.135	2.322	1.790

Tablo 4 incelendiğinde en iyi amaç fonksiyonu değerlerinin tüm gruplarda aynı olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar standart sapmanın % 1.7-2.6 arasında olduğunu ve her parametre grubundan elde edilen ortalama amaç fonksiyonu değerlerinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Z1 zemin sınıfında olduğu gibi Z4 zemin sınıfında da amaç fonksiyonları arasında standart sapmanın en düşük elde edildiği parametre grubu PG5 grubudur ve bu sırayı PG2, PG3, PG4 ve PG1 grupları takip etmektedir. Analizler sonucunda elde edilen optimum tasarım için karar değişkenlerinin almış olduğu değerler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Z4 zemin sınıfı için elde edilen en iyi amaç fonksiyonuna karşılık gelen bina tasarım sonuçları.

Karar değişkenleri	
Boyuna don. Oranı ( $\rho_l$ )	1.45%
1'nolu kolon boyutu ( $B_1$ )	350
2'nolu kolon boyutu ( $B_2$ )	600
3'nolu kolon boyutu ( $B_3$ )	550
4'nolu kolon boyutu ( $B_4$ )	500
Beton sınıfı (N/mm <sup>2</sup> )	20

Şekil 6'da ise her bir parametre grubuna ait yakınsama grafikleri verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde her parametre grubunun amaç fonksiyon başlangıç değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu durum daha önceden de belirtildiği gibi armoni ile araştırma sürecinde belleğin rastgele oluşturulduğu ve rastgele başladığını göstermektedir. Her ne kadar başlangıçta amaç fonksiyonu değerleri birbirinden farklı olsa da iterasyon süreci içerisinde fonksiyon değerlerin birbirlerine yaklaştıkları görülmektedir. Bu da belleğin kendini güncellediğinin bir göstergesidir.



Şekil 6: Z4 zemin sınıfı için tasarım yakınsama grafiği.

İyi zemin sınıfında olduğu gibi kötü zemin sınıfında da tüm tasarımlardan elde edilen yatay donatı aralığının 100 mm ve 8 mm çapında olduğu yani yönetmelikteki minimum şartların sağlanmış olduğu belirlenmiştir. Ancak kötü zemin sınıfı için elde edilen kesitlerin iyi zemin sınıfına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kötü zeminde spektrum köşe

periyodunun daha yüksek olmasından dolayı bina elastik periyotları sabit hız bölgesinde kalmaktadır. Bu durumda yapıya etkiyen deprem kuvvetlerini ve yatay yer değiştirme taleplerini arttırmaktadır. Artan talepler sebebiyle de kolon kesitleri büyümeye başlamaktadır. Sonuçta kötü zemindeki yapıda kolon kesitlerinin, yapıda meydana gelen zorlanmalardan ve kritik hale gelmeye başlayan görelî kat ötelenmesi sınırından etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca tasarımlarda kritik olan kesitlerin binanın iç çerçevelerinde meydana geldiği belirlenmiştir.

## 5 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, sezgisel armoni araştırması tekniği ile Türkiye'de özellikle sanayi bölgelerinde, büyük çoğunluğu tek katlı ve birleşimleri mafsallı olarak inşa edilen prefabrik yapıların optimum tasarımı için çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir.

Tasarım için, birinci derece deprem bölgesinde yer alan, bina önem katsayısı  $I=1$  ve Z1 ve Z4 zemin sınıfları üzerinde inşa edildiği düşünülen 6 metre yüksekliğinde ve X yönünde  $3 \times 20$ m, Y yönünde ise  $6 \times 7.5$ m açıklığa sahip tipik bir prefabrik sanayi yapısı ele alınmıştır.

Çalışmada, algoritmanın durma koşulu olarak iterasyon sayısı 10,000 alınmış ve kullanılan armoni araştırma tekniğindeki parametrelerin global minimum ve lokal minimum çözümler üzerindeki etkisini göstermek amacıyla 5 farklı parametre grubu oluşturulmuştur. Ayrıca her parametre grubu farklı başlangıç çözümlerini dikkate alacak şekilde 30 kez çalıştırılarak kullanılan algoritmanın parametrelerinin çözüm üzerindeki duyarlılığı ve elde edilen sonuçların kararlılığı araştırılmıştır.

Algoritma ile yapılan çözümlerde elde edilen tüm tasarımların bütün kısıtları sağladığı ve kullanılan tüm parametre gruplarında en iyi amaç fonksiyonu değerlerinin aynı olduğu belirlenmiştir. Parametre grupları arasında yapılan kıyaslamalarda hesaplanan ortalama amaç fonksiyonu değerleri her iki zemin grubunda da birbirine oldukça yakındır. Bu durum kullanılan algoritmanın kararlı olduğu vurgulayan önemli bir göstergedir. İyi zemin (Z1) sınıfı için yapılan analizlerde standart sapma değerleri küçükten büyüğe doğru PG5, PG2, PG1, PG4 ve PG3 iken kötü zemin (Z4) sınıfında bu sıralamayı PG5, PG2, PG3, PG4 ve PG1 grupları izlemektedir. Her iki zemin sınıfında standart sapmanın en düşük elde edildiği grup PG5 parametre grubudur. Dolayısıyla prefabrik yapıların tasarımında bu parametre grubunun kullanılması iyi bir tercih olabilir.

Yapılan değerlendirmeler neticesinde kullanılan çözüm algoritması ile farklı yönetmelik, kısıt ve/veya farklı zemin sınıfları içinde tasarımların gerçekleştirilebileceği ve hatta bu yapıların doğrusal olmayan analizlerini de içeren performansa dayalı tasarımlarının yapılabilmesinin mümkün olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılan armoni araştırması optimizasyon tekniğinin, prefabrik sanayi yapılarının tasarımında da etkin olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

## 6 Kaynaklar

- [1] Palanci, M., "Mevcut Prefabrik Sanayi Yapılarının Deprem Performansının Bina Envanterlerine Dayalı Tahmini", *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 125 s, 2010.
- [2] Özden, K., "Prefabriğe İnşaata Şartname Hükümleri ve Hesap Esasları", *Prefabriğe İnşaat Teknolojileri*

- Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, 1997.
- [3] Ersoy, U., "Prefabrik Yapıların Deprem Etkileri Altında Davranışı", *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, 1997.
- [4] Özmen, G., Yüzüğüllü, O. & Zorbozan, M., "Yeni Deprem Yönetmeliğinin Prefabrike Yapılar Bakımından İrdelenmesi", Türkiye Deprem Vakfı, TDV/TR 97-006, İstanbul, 1997.
- [5] Goldberg, D.E., "Genetic Algorithms in Search", *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, 1-88, 1989.
- [6] Maniezzo, V., Gambardella, L.M. & De Luigi, F., "Ant Colony Optimization", *New Optimization Techniques in Engineering*, 101-117, 2004.
- [7] Geem, Z.W., Kim, J.H. & Loganathan, G.V., "A new Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search", *Simulation*, 60-68, 2001.
- [8] Yıldız, A.R., "Hybrid Taguchi-Harmony Search Algorithm for Solving Engineering Optimization Problems", *International Journal of Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*, 286-293, 2008.
- [9] Kravanja, S., Turkalj, G., Silih, S., Zula, T., "Optimal design of single-story steel building structures based on parametric MINLP optimization", *Journal of Constructional Steel Research*, 86-103, 2013.
- [10] Yıldız, A.R., "Comparison of evolutionary-based optimization algorithms for structural design optimization", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 327-333, 2013.
- [11] Ashrafi, S.M., Dariane, A.B. "Performance evaluation of an improved harmony search algorithm for numerical optimization: Melody Search (MS)", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 1301-1321, 2013.
- [12] 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*, 2326-2338, 2007.
- [13] Lee, K.S., Geem, Z.W., Lee, S.H. & Bae, K.W., "The Harmony Search Heuristic Algorithm for Discrete Structural Optimization", *Engineering Optimization*, 663-684, 2005.
- [14] Saka, M.P., "Optimum Geometry Design of Geodesic Domes Using Harmony Search Algorithm", *Advances in Structural Engineering*, Cilt 10, No 6, 595-606, 2007.
- [15] Kayhan, A.H., "Armoni araştırması ile İvme Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirme", *İMO Teknik Dergi*, 5751-5775, 2012.
- [16] DBYBHY., "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [17] TS 500., "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [18] TS 498., "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [19] TS 9967., "Taşıyıcı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngermeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992.
- [20] Microsoft Corporation, *Microsoft Excel Visual Basic for Applications Reference*, Microsoft Press, A.B.D., 1994.