

# GABİON TİPİ DAYANMA DUVARLARININ HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMİZASYONU

## OPTIMIZATION OF GABION RETAINING WALLS BY USING THE HARMONY SEARCH ALGORITHM

Esra URAY<sup>1</sup>, Serdar ÇARBAŞ\*<sup>2</sup>, İ.Hakkı ERKAN<sup>3</sup>, Özcan TAN<sup>4</sup>

### ABSTRACT

In this study, the optimum design of gabion retaining wall has performed by using the harmony search optimization (HSO) algorithm. The harmony search algorithm is a metaheuristic algorithm, which is based on principle of finding best harmony during music performance. Gabion retaining wall is constructed with gabion basket produced in standard sizes. It is possible to obtain more economic retaining wall, satisfying stability conditions, with taken as a variable instead of the standard size of gabion basket. In mathematical model of this study, base width, reduction distance of basket width and ordinal number of gabion basket have been considered as design variables. In the design of retaining wall, sliding and overturning safety factors have been taken into consideration as the stability conditions and calculations have been conducted according to TS 7994. In the design, objective function has been taken as minimum wall weight and optimum wall dimensions, which are given this weight, have been obtained. Design constraints are the sliding and overturning safety factors as well as the geometric constraints due to wall geometry. For different soil parameters, the minimum weight of gabion retaining wall and the optimum values of the design variables have been obtained. Gravity retaining wall optimization has been performed by using according to same soil parameters and same algorithm, which is used in the design of gabion retaining wall. Weights of the gabion and the gravity retaining wall obtained in study of optimization have been compared in terms of economy.

**Keywords:** Gabion Retaining Wall, Gravity Retaining Wall, Harmony Search Algorithm, Optimization

### ÖZET

Bu çalışmada, gabion dayanma duvarın optimum tasarımı harmoni arama algoritması kullanılarak yapılmıştır. Harmoni arama algoritması müzik icrasında en iyi harmoniyi bulma prensibine dayanan sezgisel optimizasyon yöntemidir. Gabion dayanma duvarı, standart boyutlarda üretilen gabion sepetlerle inşa edilir. Duvar tasarımında gabion sepet boyutlarının standart yerine değişken olarak alınması ile stabilite koşullarını sağlayan daha ekonomik dayanma duvarı elde etmek mümkündür. Bu çalışmanın matematik modelinde, dayanma duvar temel genişliği, sepet genişliği azaltma mesafesi ve gabion sıra sayısı tasarım değişkeni olarak alınmıştır. Dayanma duvarı tasarımında, stabilite koşulları olarak kayma ve devrilme güvenlik

<sup>1</sup> Araştırma Görevlisi, KTO Karatay Üniversitesi, esra.uray@karatay.edu.tr (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Yardımcı Doçent Doktor, Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, scarbas@kmu.edu.tr

<sup>3</sup> Yardımcı Doçent Doktor, Necmettin Erbakan Üniversitesi, herkan@konya.edu.tr

<sup>4</sup> Profesör Doktor, Selçuk Üniversitesi, ozcantan@selcuk.edu.tr

sayıları dikkate alınmış ve hesaplamalar TS 7994'e göre yapılmıştır. Tasarımda, amaç fonksiyonu minimum duvar ağırlığı olarak alınmış ve bu ağırlığı veren optimum duvar boyutları elde edilmiştir. Tasarım sınırlayıcıları kayma ve devrilme güvenlik sayıları ve duvarın geometrisinden kaynaklanan geometrik sınırlayıcılardır. Farklı zemin ve şev parametreleri için minimum gabion dayanma duvar ağırlıkları ve tasarım değişkenlerinin optimum değerleri elde edilmiştir. Gabion dayanma duvar tasarımında kullanılan aynı zemin parametreleri ve algoritma kullanılarak klasik ağırlık dayanma duvarının optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon çalışmasında elde edilen gabion ve ağırlık dayanma duvarı ağırlıkları ekonomik yönden karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gabion Dayanma Duvarı, Ağırlık Tipi Dayanma Duvarı, Harmoni Arama Algoritması, Optimizasyon

## 1. GİRİŞ

Gabion, İtalyanca kökenli bir kelime olup büyük kafes anlamına gelmektedir. Gabion, galvaniz kaplı altıgen göz açıklıklı çelik tel örgüden üretilen sepet içinin belli çap ve mekanik özellikteki kaya ya da iri taşlarla doldurulmasıyla elde edilir. Bu sepetlerin belirli bir düzende yerleştirilip birbirlerine bağlanması ile gabion dayanma duvarı elde edilmektedir. Gabionlar, uzun hizmet süresine sahip ve çevre dostu olması ile birlikte farklı oturmalar yapan zeminde gösterdiği esnek yapısı ve ekonomik olması gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca boşluklu yapısından olayı drenaj önlemi gerektirmemesi ve kısa sürede imal edilmesi gibi önemli avantajlara sahiptir. Ağırlık dayanma duvarında, imalatında kullanılan belirli boyutta olması gereken taş malzemenin zor bulunması, işçilik maliyetinin fazla olması, drenaj problemi, rijit yapısı gibi dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Ağırlık dayanma duvarında görülen bu dezavantajlar, gabion dayanma duvar imalatı ile önemli ölçüde giderilmektedir.

Literatürde bulunan ilk deneysel gabion çalışması Maccaferri firmasının teknik yayınlar kapsamında Agostini (1987) tarafından yapılan “Zemin Dayanma Yapısı Uygulamalarında Esnek Gabion Yapıları” konulu çalışmadır. Günümüzde dayanma duvarı, nehir ve kanal aşınmaları, erozyon, zemin iyileştirme ve kaya düşmesi önleme gibi amaçlarla kullanılan gabion, diyaframlı veya diyaframsız gabion sepet, şilte gabion, çuval gabion ve tel ağ olmak üzere dört çeşittir. Yumuşak kil dolguda şilte gabion ile stabilizasyon uygulanması ile ilgili araştırmalar yapılmıştır (Lo ve Li., 1991). Kandarıs (1999) tarafından yapılan çalışmada, zemin problemi olan iki farklı arazide şev stabilitesini sağlama ve erozyon önleme amacıyla uygulanan gabion sepet uygulamaları araştırılmıştır. Günümüzde, gabion sepetin donatılı dayanma duvarı ile birlikte kullanıldığı uygulamalarda bulunmaktadır. Stanic vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada gabion sepet elemanlardan oluşan donatılı zemin duvarında gabion sepet tel örgü ile dolgu arasındaki iç kuvvet ve deformasyonun parametrik incelenmesi yapılmıştır. Zhao vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, kanal düzenlenmesinde uygulanan gabion dayanma duvarının, farklı oturma ve nehir erozyonu problemlerinde çevreye uyumlu ve ekolojik sisteme zarar vermeyen bir yapı olduğu gösterilmiştir. Sel taşkın bölgelerinde erozyon önleme amaçlı inşa edilen gabion dayanma duvarında gabion sepet diziliminin ve sepet geometrisinin duvar dayanımına etkisi araştırılmıştır (Ramli vd., 2013). Uray (2015) tarafından yapılan çalışmada duvar yüksekliği, duvar taban genişliği, duvar açısı, duvar arka dolgu içsel sürtünme açısı ve duvar arka dolgu eğiminin kayma ve devrilme güvenlik sayılarına ve sepetler arası çekme dayanımına etkisi parametrik olarak incelenmiş ve tasarımı etkileyen parametreler istatistiksel olarak Taguchi Yöntemi ile belirlenmiştir.

Günümüzde, karşılaşılan bazı karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde matematik tabanlı deterministik yöntemler yetersiz kaldığı durumlarda daha kısa sürede güvenilir sonuçlara ulaşmak için sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Harmoni arama algoritması, son zamanlarda geliştirilen sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. İlk olarak Geem vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada müzik geliştirme sırasında en iyi

harmoniyi bulma prensibi temeline dayanan harmoni arama algoritmasının teorisi ve bazı örnek optimizasyon uygulamaları verilmiştir. Lee ve Geem (2005) tarafından yapılan çalışmalarda bu optimizasyon algoritmasının birçok mühendislik optimizasyon problemlerinin çözümü için güçlü ve etkili bir teknik olduğu gösterilmiştir. Geem vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada harmoni arama algoritmasının yapısal optimizasyona uygulanmış ve harmoni arama algoritması ile genetik algoritmanın karşılaştırılması yapılmıştır. Düşük ağırlık ve maliyet ile birlikte yüksek dayanım gösteren soğuk haddelenmiş ince cidarlı çelik kirişlerde optimum kesiti harmoni arama algoritması kullanılarak belirlenmiştir (Çarbaş vd. 2010).

Kouigas ve Theodossiou (2010) tarafından yapılan literatür tarama çalışmasına göre harmoni arama algoritmasının geoteknik alanda kullanımı %9 olup algoritmanın bilimsel araştırmaları yaygın olarak yapılmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde doğal ve yapay şevlerde kritik kayma yüzeyinin belirlenmesi problemi oldukça sık karşılaşılan zor bir problem olup bu problemin çözümünde harmoni arama algoritması yaygın olarak kullanılmaktadır (Cheng, 2009) (Fattahi, 2015). Harmoni arama algoritmasının uygulandığı bir diğer geoteknik uygulama Khajehzadeh vd. (2011) tarafından yapılan ekonomik radye temel tasarımıdır. Sezgisel yöntemler konsol dayanma duvarının maliyet optimizasyonunda etkili ve verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Camp ve Akın (2011) tarafından büyük patlama-büyük sıçrama algoritması, Ghazavi ve Bonab (2011) tarafından karınca koloni algoritması ve Kayhan ve Demir (2016) tarafından parçacık sürü algoritması kullanılarak betonarme konsol dayanma duvarının maliyet optimizasyonu araştırılmıştır. Akın ve Saka (2010) tarafından yapılan çalışmada, betonarme konsol dayanma duvarının optimum tasarımı harmoni arama algoritması kullanılarak yapılmıştır. Konsol dayanma duvarının optimum tasarımında, duvar elemanlarının boyutları ve duvar elemanlarının donatıları tasarım değişkeni olarak alınmıştır. Harmoni arama algoritması kullanılarak tasarım değişkenlerinin optimum değerleri ve duvarın minimum maliyeti bulunmuştur.

Bu çalışmada, sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biri olan ve müzikte en iyi uyumu bulma sürecini temel alan harmoni arama algoritması kullanılarak gabion dayanma duvarının ağırlığı optimize edilmiştir. Gabion dayanma duvarı tasarımında, fabrikada üretilen standart boyutlara sahip gabion sepetler kullanılmakta ve sepet genişliği azaltma mesafesi standart gabion sepet genişliğine göre alınmaktadır. Bu durumda, ekonomik olmayan tasarım elde edilmektedir. Optimizasyon aşamasında, minimum duvar ağırlığını veren optimum tasarım değişken değerlerinin elde edilmesinde kayma ve devrilme güvenlik sayıları ile geometrik sınırlayıcılar dikkate alındığından dolayı dayanma duvarında stabilite koşulları sağlanmıştır. Günümüzde gabion dayanma duvar tasarımı ağırlık dayanma duvarı gibi yapılmaktadır. Tasarımlarda kafes göz açıklığı, bağlantı elemanları, gabion tel örgü-taş etkileşimi, sistemin esnekliği ve gabion sepetlerin örülmesinde kullanılan yumuşak çeliğin dayanımı vb. özellikler, dikkate alınmamakta veya gabion dayanma duvarının yükler altında davranışını tam olarak temsil etmeyen oldukça basit kabullerle analiz yapılmaktadır. Gabion dayanma duvarının tasarımında kullanılan aynı zemin özellikleri ve aynı algoritma kullanılarak ağırlık dayanma duvarının ağırlık optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Optimizasyon çalışmasında elde edilen gabion ve ağırlık dayanma duvarı ağırlıkları ekonomik yönden karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada, gabion ve ağırlık dayanma duvarı tasarımında, duvar yüksekliği, içsel sürtünme açısı, duvar arka dolgusu birim hacim ağırlık değişiminin duvar tasarım değişkenlerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

Son zamanlarda mühendislik alanında karşılaşılan karmaşık optimizasyon problemlerinin çözülmesinde sezgisel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sezgisel yöntemler, doğanın zor problemler karşısında ürettiği çözümlerden faydalanarak optimizasyon problemlerine çözüm üreten algoritmalarlardır. Harmoni arama algoritması, ilk olarak Geem vd. tarafından (2001) çalışılan ve müzik icrası sırasında en iyi harmoniyi bulma prensibine dayanan sezgisel

bir optimizasyon yöntemidir. Harmoni arama algoritması basit bir algoritmaya sahip olması, iterasyon sayısının fazla olduğu durumlarda makul zamanda sonuç vermesi, sürekli ya da ayrık değişkenler için kullanılabilmesi ve optimizasyon sürecinde lokal çözümlere takılmadan global çözüme ulaşması gibi kolaylıklardan dolayı diğer sezgisel yöntemlere göre daha avantajlı bir algoritmadır.

Harmoni arama algoritmasının adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Harmoni arama algoritmasında çözüm sürecini kontrol eden algoritma parametreleri başlatılır. Optimum tasarım problemindeki her bir tasarım değişkeni için geçerli bir değer aralığı tanımlanır. Bu değerlerden alınarak algoritmanın tasarım değişkenleri için tasarım havuzu oluşturulur. Daha sonra hafıza matrisinin çözüm vektörlerinin sayısı (HMS), hafıza matrisini dikkate alma oranı (HMCR), iki değer arasındaki ayarlama oranı (PAR) ve durdurma kriteri maksimum iterasyon sayısı bu adımda seçilir.

Adım 2: Harmoni hafıza matrisi (HM) başlatılır. Harmoni hafıza matrisine ilk değerler atanır. Bu matrisin her satırı belirli bir tasarım değişkeni için olası çözümler içeren ve tasarım havuzundan rastgele seçilen değerleri muhteva eder. Burada N tasarım değişkeni sayısına ve HMS hafıza matrisi satır sayısına karşılık gelmektedir. Harmoni hafıza matrisinde çözüm vektörleri, amaç fonksiyonlarının değerleri minimumdan maksimuma doğru giden bir şekilde sıralanırlar. Burada sadece olası çözüm vektörleri değil küçük elverişsizlikler içeren çözüm değerleri de çözüm matrisine dâhil edilir.

Adım 3: Yeni harmoni hafıza matrisi geliştirilir. Harmoni arama yönteminde yeni bir çözüm vektörünün oluşturulması bu yöntemin temel iki parametresi (HMCR ve PAR) ile kontrol edilir. HMCR, algoritmayı bir tasarım değişkenine değer seçmek için ya harmoni hafızasına ya da tüm değerler kümesine yönlendiren bir olasılık değeridir. Bazen tasarım değişkeni harmoni hafızasından seçildiği zaman bu değişkenin en yakın alt ve üst komşuları ile yer değiştirip değiştirmeyeceği kontrol edilir. Buradaki amaç güncel bir çözüm çevresindeki geçişleri sağlayarak daha detaylı bir arama yapmaktır. Harmoni arama yöntemindeki bu olgu iki değer arasındaki ayarlama (PAR) olarak bilinir.

Adım 4: Harmoni hafıza matrisi güncellenir. Her bir tasarım değişkeni için yeni değerler elde edildikten sonra yeni çözüm vektörü için amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Eğer bu değer harmoni hafıza matrisindeki en kötü harmoni vektörü değerinden iyi ise matrise dâhil edilir ve en kötü değer matristen çıkarılır.

Adım 5: Sonlandırma kriteri olan maksimum döngü sayısına ulaşılan kadar Adım 3 ve Adım 4 tekrar edilir.

### 3. GABİON DAYANMA DUVARININ OPTİMUM TASARIMI

#### 3.1. Tasarım Değişkenleri

Optimizasyon probleminde, dayanma duvar temel genişliği ( $X_1$ ), gabion sepet genişliği azaltma mesafesi ( $X_2$ ) ve gabion sıra sayısı ( $X_3$ ) tasarım değişkeni olarak alınmıştır. Şekil 1'de gabion dayanma duvarı ve tasarım değişkenleri verilmiştir. Şekil 1'de gösterilen tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları artım miktarı ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir. Bu tasarım değişkenlerinden temel genişliği ( $X_1$ ), duvar yüksekliğine (H) bağlı olarak değişirken, sepet genişliği azaltma mesafesi ( $X_2$ ) temel genişliğine ( $X_1$ ) bağlı olarak değişmektedir. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları belirlenirken TS7994 şartnamesi dikkate alınmıştır. Her H=4-5-6-7-8m duvar yükseklikleri için, farklı içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve farklı duvar arka dolgu zemin birim hacim ağırlık ( $\gamma_z$ ) değerlerine göre farklı tasarımlar yapılmıştır. Yapılan duvar tasarımlardan kayma ve devrilme güvenlik sayıları ile geometrik sınırlayıcıları sağlayan

tasarıma ait minimum duvar ağırlıkları elde edilmiştir. Gabion dayanma duvar tasarımında  $\theta=20-25-30-35-40^\circ$  ve  $\gamma_z=16-18-20\text{kN/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Temel derinliği,  $D_f=1.5\text{m}$ , gabion birim hacim ağırlığı,  $\gamma_g=20\text{kN/m}^3$  ve duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı,  $\delta=\theta$  olarak alınmıştır.

### 3.2. Amaç Fonksiyonu

Bu çalışmada kullanılan amaç fonksiyonu gabion dayanma duvarın minimum ağırlığını veren matematiksel ifadedir (Eşitlik 1).

$$f_{\min}(x) = W_{tg} \quad (1)$$

### 3.3. Sınırlayıcılar

Duvarın optimum tasarımında kullanılan sınırlayıcılar, duvarın stabilitesini sağlayan kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayıları ile duvarın geometrisinden kaynaklanan sınırlayıcılardır. Kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayısı sınırlayıcısı 1.3 olarak alınmış ve bu sınırlayıcılara ait normalize edilmiş matematiksel ifadeleri sırasıyla Eşitlik 2-3'te verilmiştir.  $g_1(x)$  ve  $g_2(x)$  sınırlayıcı hesaplanmasında kullanılan ilgili diğer matematiksel ifadeler Şekil 2'de verilmiştir. Duvarın stabilite analizi için yapılan kayma ve devrilme tahkiklerinde kullanılan aktif zemin basıncı ( $P_a$ ), pasif zemin basıncı ( $P_p$ ), aktif zemin basınç katsayısı,  $K_a$  ve pasif zemin basınç katsayısı,  $K_p$  sırasıyla Eşitlik 4-7'de verilmiştir. Duvarın geometrisinden kaynaklanan sınırlayıcıların normalize edilmiş matematiksel ifadesi Eşitlik 8-9'da verilmiştir.

$$g_1(x) = 1 - \frac{(W_{tg} + W_{tz}) * \tan \delta + P_p}{1.3 * P_a} \leq 0 \quad (2)$$

$$g_2(x) = 1 - \frac{W_g(i) * x_g(i) + W_z(i) * x_z(i) + P_p * D_f / 3}{1.3 * P_a * H / 3} \leq 0 \quad (i=1,2,\dots,X_3) \quad (3)$$

$$P_a = (\gamma_z * H^2 * 0.5) * K_a \quad (4)$$

$$P_p = (\gamma_z * D_f^2 * 0.5) * K_p \quad (5)$$

$$K_a = \tan^2(45 - \theta / 2) \quad (6)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \theta / 2) \quad (7)$$

$$g_3(x) = 0.5 - X_2 \leq 0 \quad (8)$$

$$g_4(x) = X_2 - X_1 / 2 \leq 0 \quad (9)$$

Ağırlık optimizasyonu sürecinde rastgele arama yapan harmoni arama algoritmasında her sıradaki gabion sepet dizilimi tasarım değişkeni  $X_3$ 'ün değerine göre farklılık göstermektedir. Bu sebeple her sıradaki gabion sepet ağırlığı,  $W_g(i)$ , zemin tabaka ağırlığı,  $W_z(i)$ , bu ağırlıklara ait gabion sepet ağırlık merkez mesafesi,  $x_g(i)$  ve zemin tabakası ağırlık merkezi mesafesi,  $x_z(i)$

ve toplam sepet genişliği,  $B(i)$  bulunduğu i.sıraya ( $i=1,2,\dots,X_3$ ) göre hesaplanmalıdır ve bu hesaplamalarda kolaylık için Şekil 2’de verilen akış diyagramı oluşturulmuş ve bu algoritma harmoni arama algoritmasına eklenerek analiz yapılmıştır.

## 4. AĞIRLIK DAYANMA DUVARININ OPTİMUM TASARIMI

### 4.1. Tasarım Değişkenleri

Optimizasyon probleminde, dayanma duvar temel genişliği ( $X_1$ ) ve üst duvar kalınlığı ( $X_2$ ) tasarım değişkeni olarak alınmıştır. Şekil 1’de ağırlık dayanma duvarı ve tasarım değişkenleri verilmiştir. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları artım miktarı ile birlikte Tablo 1’de verilmiştir. Bu tasarım değişkenlerinden temel genişliği ( $X_1$ ) ve üst duvar kalınlığı ( $X_2$ ), duvar yüksekliğine ( $H$ ) bağlı olarak değişmektedir. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları belirlenirken TS7994 şartnamesi dikkate alınmıştır. Gabion dayanma duvar optimum tasarımına benzer olarak her  $H=4-5-6-7-8$ m duvar yükseklikleri için, farklı içsel sürtünme açısı ( $\emptyset$ ) ve farklı duvar arka dolgu zemin birim hacim ağırlık ( $\gamma_z$ ) değerlerine göre farklı tasarımlar yapılmıştır. Yapılan duvar tasarımlardan kayma ve devrilme güvenlik sayıları ile geometrik sınırlayıcıları sağlayan tasarıma ait minimum duvar ağırlıkları elde edilmiştir. Ağırlık dayanma duvar tasarımında  $\emptyset=20-25-30-35-40^\circ$  ve  $\gamma_z=16-18-20$  kN/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. temel derinliği,  $D_f=1.5$  m, duvar birim hacim ağırlığı,  $\gamma_d=20$  kN/m<sup>3</sup> ve duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı,  $\delta=\emptyset$  olarak alınmıştır.

### 4.2. Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, ağırlık dayanma duvar ağırlığının minimum değerini veren matematiksel ifadedir (Eşitlik 10). Duvarın toplam ağırlığını oluşturan  $W_1$ ,  $W_2$  ve  $W_3$  sırasıyla Eşitlik 11-13’te verilmiştir. Duvarın stabilite analizi için yapılan tahkiklerde kullanılan temel üzerinde kalan zemin ağırlığı ( $W_4$ ) Eşitlik 14’te ve duvar arkası aktif zemin basıncı ( $P_a$ ), pasif zemin basıncı ( $P_p$ ), aktif zemin basınç katsayısı,  $K_a$  ve pasif zemin basınç katsayısı,  $K_p$  sırasıyla Eşitlik 4-7’de verilmiştir.

$$f_{\min}(x) = W_1 + W_2 + W_3 \quad (10)$$

$$W_1 = (X_1 - X_2) * (H - D_f) * 0.5 * \gamma_d \quad (11)$$

$$W_2 = X_2 * (H - D_f) * \gamma_d \quad (12)$$

$$W_3 = X_1 * D_f * \gamma_d \quad (13)$$

$$W_4 = (X_1 - X_2) * (H - D_f) * 0.5 * \gamma_{\text{zemin}} \quad (14)$$

### 4.3. Sınırlayıcılar

Duvarın optimum tasarımında kullanılan sınırlayıcılar, kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayıları ile duvarın geometrisinden kaynaklanan sınırlayıcılardır. Kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayısı sınırlayıcısı 1.3 olarak alınmış ve bu sınırlayıcılara ait normalize edilmiş matematiksel ifadeleri sırasıyla Eşitlik 15-16’da verilmiştir. Duvarın geometrisinden

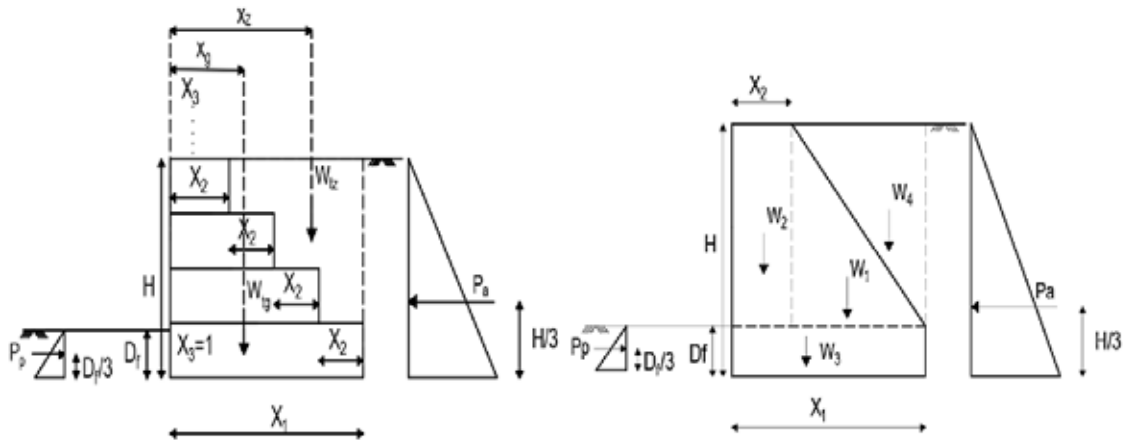
kaynaklanan sınırlayıcıların normalize edilmiş matematiksel ifadesi Eşitlik 17-18'de verilmiştir.

$$g_1(x) = 1 - \frac{(W_1 + W_2 + W_3 + W_4) * \tan \delta + P_p}{1.3 * P_a} \leq 0 \quad (15)$$

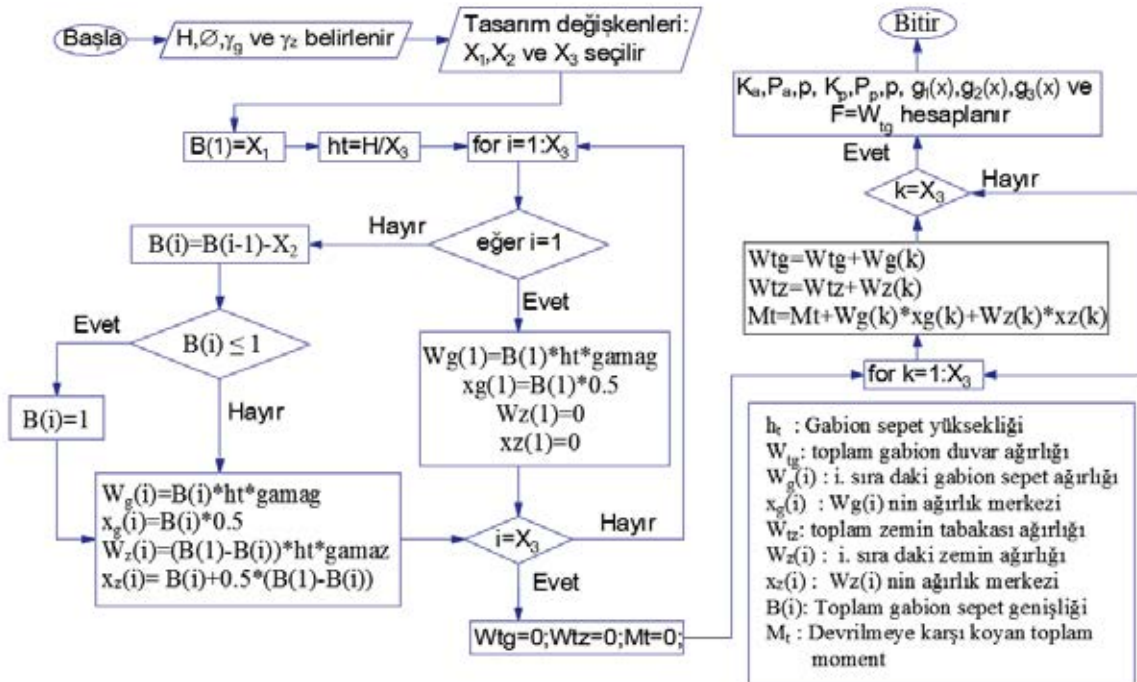
$$g_2(x) = 1 - \frac{W_1 * (X_2 + (X_1 - X_2) * 1/3) + W_2 * X_2 / 2 + W_3 * X_1 / 2 + W_4 * (X_2 + (X_1 - X_2) * 2/3) + P_p * D_f / 3}{1.3 * P_a * H / 3} \leq 0 \quad (16)$$

$$g_3(x) = X_2 - X_1 < 0 \quad (17)$$

$$g_4(x) = 0.3 - X_2 \leq 0 \quad (18)$$



Şekil 1. Gabion ve Ağırlık Dayanma Duvarı ve Tasarım Değişkenleri



Şekil 2. Gabion Dayanma Duvarı Tasarım Akış Diyagramı

Tablo 1. Tasarım Değişkenleri ve Sınırları

	Tasarım Değişkenleri	Alt Sınır	Üst Sınır	Artım Miktarı
Gabion Dayanma Duvarı	X <sub>1</sub> Temel genişliği	0.30 H	1.0 H	0.02 H
	X <sub>2</sub> Sepet genişliği azaltma mesafesi	0.1 X <sub>1</sub>	0.6 X <sub>1</sub>	0.05 X <sub>1</sub>
	X <sub>3</sub> Gabion sıra sayısı	1	H	1
Ağırlık Dayanma Duvarı	X <sub>1</sub> Temel genişliği	0.20 H	1.2 H	0.02 H
	X <sub>2</sub> Üst duvar genişliği	0.01 H	0.08 H	0.005 H

## 5. TASARIM ÖRNEKLERİ

Harmoni arama algoritması kullanılarak Şekil 1'de verilen gabion ve ağırlık dayanma duvarlarının optimum ağırlıkları bulunmuştur. Dayanma duvarlarının beş farklı duvar yüksekliği için tasarım örnekleri verilmiştir. Tablo 2'de yapılan analizlerde kullanılan duvar yüksekliği, içsel sürtünme açısı ve duvar arka dolgu birim hacim ağırlık değerlerine göre elde edilen tasarım değişkenleri, minimum duvar ağırlıkları ve kayma ve devrilme güvenlik sayıları verilmiştir. Algoritma ile bulunan optimum değerler gabion ve ağırlık dayanma duvarları optimum tasarımında verilen matematik modeller kullanılarak kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan tasarım örneklerinin belirlenmesinde beş farklı duvar yüksekliğine göre belirli içsel sürtünme açısı ve dolgu zemini birim hacim ağırlık değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde, dolgu birim hacim ağırlık değerlerinin değişimi elde edilen optimum ağırlık değerlerini önemli derecede etkilemediği için  $\gamma_z=18$  kN/m<sup>3</sup> ortalama değer olarak seçilmiştir. Tasarım örneklerinde, minimum duvar ağırlığının elde edildiği ve sonrasındaki analizlerde sonucun değişmediği içsel sürtünme açısı değerleri alınmıştır. Bu çalışma için, harmoni arama algoritması parametreleri, HMS=20, HMCR=0.95 ve PAR=0.15 olarak seçilmiştir. Algoritmadan elde edilen global optimum ya da global optimuma yakın değerlerin doğruluğundan emin olmak için iterasyonlar yapılmış ve optimum değerler 20000 iterasyon sonucunda elde edilmiştir. Şekil 3.a ve Şekil 3.b incelendiğinde gabion ve ağırlık dayanma duvar ağırlıklarının artan iterasyon sayısı ile birlikte azaldığı gabion dayanma duvarında optimum duvar ağırlığına daha hızlı ulaştığı görülmektedir. Şekil 3.c'de her iki duvar tipi için duvar ağırlığı ile duvar yüksekliği arasındaki ilişki verilmiştir. İlişki incelendiğinde artan duvar yüksekliği ile birlikte duvar ağırlıklarında artış gözlemlenmiştir. Duvar yüksekliğinin 6m ve daha fazla olduğu durumda gabion dayanma duvarı daha düşük duvar ağırlığına sahiptir. Şekil 3.d ve Şekil 3.e'de sırasıyla gabion ve ağırlık dayanma duvarlarına ait duvar ağırlığının içsel sürtünme açısı ile değişimi verilmiştir. İçsel sürtünme açısı artışı ile duvar ağırlıklarında azalma görülmektedir.

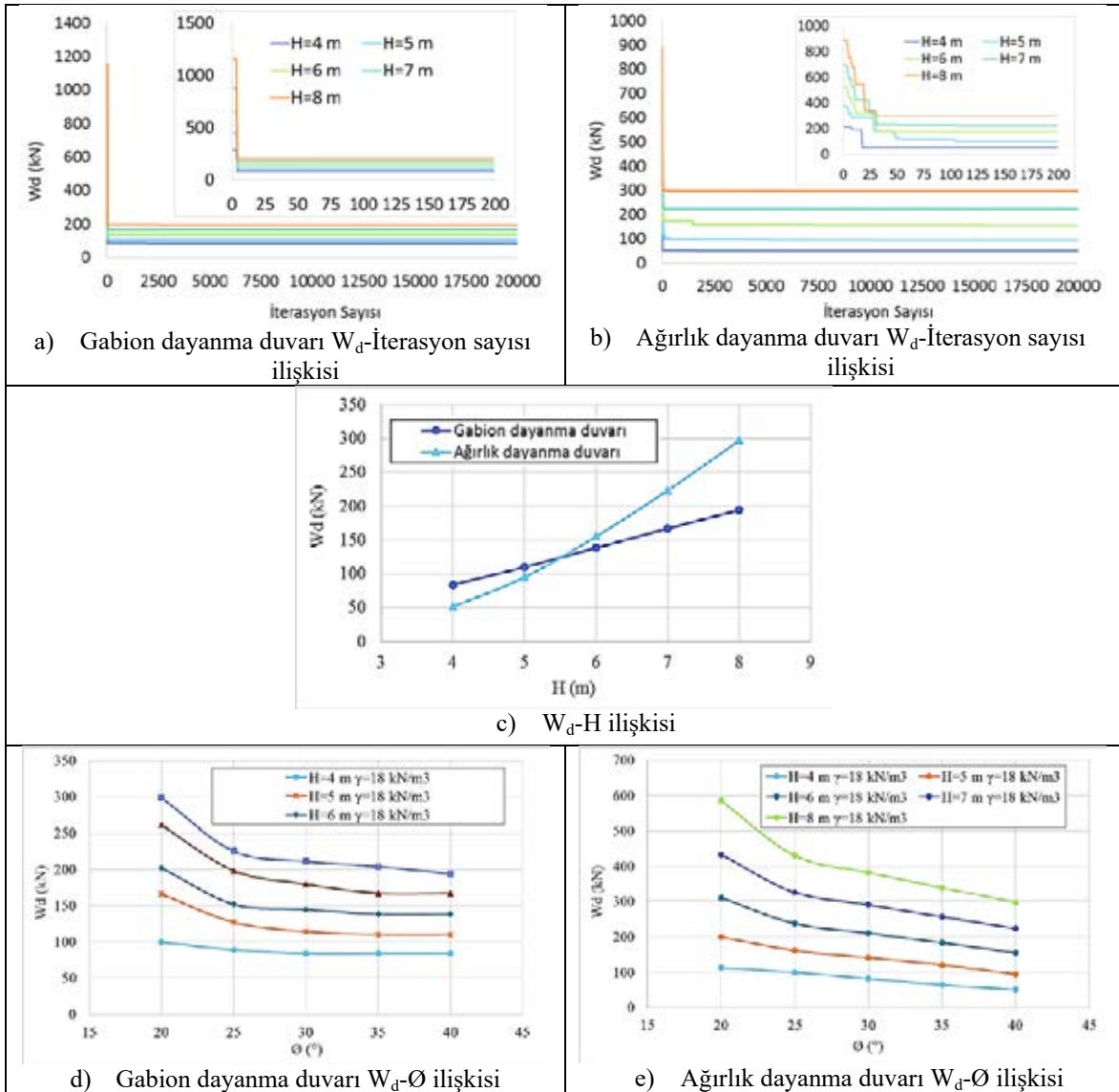
## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gabion ve ağırlık dayanma duvarlarının optimum tasarımları son zamanlarda yaygın olarak mühendislik problemlerine uygulanan ve etkili bir optimizasyon tekniği olan harmoni arama algoritması kullanılarak yapılmıştır. Farklı zemin özelliklerinde stabilite koşullarını sağlayan parametrik analizler yapılmış ve minimum duvar ağırlığını veren duvar tasarım değişkenleri bulunmuştur. Gabion ve ağırlık dayanma duvarlarının optimum tasarımlarında, kayma ve devrilme güvenlik sayıları sınırlayıcı olarak alındığı için dayanma duvarlarının stabilitesi sağlanmıştır. Analizler sonucu elde edilen tasarım değişken değerleri, tanımlanan tasarım değişkenlerine ait alt ve üst sınırları sağlamaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, dayanma duvar tasarımında duvar yüksekliğinin artmasıyla ağırlık dayanma duvarı yerine gabion dayanma duvarının inşaa edilmesinin daha ekonomik olduğu görülmüştür. Duvar arka dolgu birim hacim ağırlık değişimlerinin duvar ağırlık değişimleri üzerine önemli bir etki göstermezken ve bununla birlikte içsel sürtünme açısının artmasıyla duvar ağırlıklarının azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada önerilen algoritmanın makul zaman diliminde güvenilir sonuçları vermesi ile bu algoritmanın dayanma duvar tasarımında etkili bir şekilde kullanabileceği elde edilen sonuçlar ile kanıtlanmıştır.



Tablo 2. Gabion ve ağırlık dayanma duvarı tasarım örnekleri

Duvar Tipi	Parametre	H=4 m	H=5 m	H=6 m	H=7 m	H=8 m
Gabion Dayanma Duvarı	$\gamma_z$	18	18	18	18	18
	$\emptyset$	30	35	35	35	40
	$X_1$	1.20	1.50	1.92	2.24	2.40
	$X_2$	0.54	0.60	0.96	1.12	1.08
	$X_3$	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
	$W_d$	84	110	138.4	167.2	194.4
	$F_s(\text{kayma})$	2.40	2.90	2.61	2.37	3.18
	$F_s(\text{devrilme})$	1.35	1.42	1.39	1.30	1.42
Ağırlık Dayanma Duvarı	$\gamma_z$	18	18	18	18	18
	$\emptyset$	40	40	40	40	40
	$X_1$	0.80	1.30	1.80	2.38	2.72
	$X_2$	0.30	0.30	0.45	0.385	0.60
	$W_d$	51.5	95.0	155.2	223.47	297.4
	$F_s(\text{kayma})$	4.65	4.07	3.82	3.79	3.56
	$F_s(\text{devrilme})$	1.70	1.56	1.65	1.89	1.82



Şekil 3. Gabion ve Ağırlık dayanma duvar optimum tasarım sonuçları

## 7. KAYNAKLAR

- Agostini, R. ve Agostini, R. (1987), “Flexible Gabion Structures in Earth Retaining Works”, Officine Maccaferri.
- Akın, A. ve Saka, P. (2010), “Optimum Design of Concrete Cantilever Retaining Walls using the Harmony Search Algorithm”, Civil-Comp Press, 10.4203, ccp.93.130.
- Çarbaş, S. ve Saka, M. P. (2010), “Optimum Design of Cold-Formed Open Thin-Walled Sections Using Harmony Search Algorithm”, In 9th International Congress on Advances in Civil Engineering (pp. 27-30).
- Camp, C. V. ve Akin, A. (2011), “Design of Retaining Walls Using Big Bang–Big Crunch Optimization”, Journal of Structural Engineering, 138(3), 438-448.
- Cheng, Y. M. (2009), “Modified Harmony Methods for Slope Stability Problems. In Music-Inspired Harmony Search Algorithm”, (pp. 141-162). Springer Berlin Heidelberg.
- Fattahi, H. (2015), “Prediction of Slope Stability State for Circular Failure: A Hybrid Support Vector Machine with Harmony Search Algorithm” Int. J. Optim. Civil Eng 5.1, 103-115.
- Geem, Z. W., Kim, J. H. ve Loganathan, G. V. (2001), “A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search”, Simulations, 76(2), 60-68.
- Geem, Z. W., Lee, K. S. ve Tseng, C. L. (2005), “Harmony Search for Structural Design”, In Proceedings of the 7th annual conference on Genetic and evolutionary computation (pp. 651-652). ACM.
- Ghazavi, M. ve Bonab, S. B. (2011), “Optimization of Reinforced Concrete Retaining Walls Using Ant Colony Method”, ISGSR.
- Kandaris, PM., 1999, “Use of Gabions for Localized Slope Stabilization in Difficult Terrain”, Rock Mechanics for Industry, 1-2, 1221-1227.
- Kayhan, A. H. ve Demir, A. (2016), “Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimum Tasarımı”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(3), 129-135.
- Khajehzadeh, M., Taha, M. R., El-shafie, A. ve Eslami, M. (2011), “Economic Design of Foundation Using Harmony Search Algorithm”, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(6), 936-943.
- Kouigas, I. ve Theodossiou, N. (2010), “A New Music-Inspired Harmony Based Optimization Algorithm. Theory and Applications”, Conference: International Conference on Protection and Restoration of the Environment X, At Corfu, Greece
- Lee, K. S., Geem, Z. W. (2005), “A New Meta-Heuristic Algorithm for Continuous Engineering Optimization: Harmony Search Theory and Practice”, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., Vol.194, No.1, pp. 3902–3933.
- Lo, S.C. ve Li, S.Q. (1991), “The Use of Gabion Mattress in Reinforcing Embankment of Soft Clay”; Performance of Reinforced Soil Structures, 415-419.
- Ramli, M., Karasu, T.J.ve Dawood, E.T. (2013), “The Stability of Gabion Walls for Earth Retaining Structures”, Alexandria Engineering Journal, 52 , 705-710.
- Stanic, B., Kovacevic, M. ve S ve Szavits-Nossan, A. (2005), “Parametric Study of Reinforced Earth Wall Deformations”, Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1-5, 1417-1420.
- Türk Standartları Enstitüsü (1990), “TS-7994 Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları”. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Uray, E. ve Tan, Ö. (2015), “Investigation of Design Criteria for the Type of Gabion Walls”, International Conference on Civil and Environmental Engineering ICOCEE, Kapadokya, Türkiye.
- Zhao, L., Gao, L. ve Jin, H. (2012), “Application of Gabion Slope Protection of Nanyang River Channel Regulation in Tianzhen County”, Advanced Materials Research, 374-377,1938-1941.