

**SİMETRİK AĞIRLIK İSTİNAT DUVARLARININ OPTİMUM TASARIMI**Burak KAYMAK<sup>1,\*</sup>, Uğur DAĞDEVİREN<sup>2</sup><sup>1</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya, [burak.kaymak@dpu.edu.tr](mailto:burak.kaymak@dpu.edu.tr), <sup>2</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya, [ugur.dagdeviren@dpu.edu.tr](mailto:ugur.dagdeviren@dpu.edu.tr), 

Geliş Tarihi: 10.04.2018

Kabul Tarihi: 08.05.2018

**ÖZ**

İstinat duvarları, inşaat mühendisliğindeki önemli uygulamalardan birisidir. İstinat duvar türlerinden birisi olan ağırlık istinat duvarları özellikle duvar yüksekliğinin fazla olmadığı durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağırlık istinat duvarlarında duvar kesitinde oluşan kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri duvar malzemesi tarafından karşılanabildiğinden, duvar içerisinde donatı gereksinimi oluşmamakta ve daha ekonomik tasarımlar yapılabilmektedir. İstinat duvarlarının tasarımı için birçok göçme modu, tasarım gereksinimleri ve kısıtlarının birlikte düşünülmesi gerektiğinden, bu problem önemli optimizasyon problemlerinden birisi haline gelmektedir. Bu çalışmada, simetrik ağırlık istinat duvarlarının optimum tasarımı için sezgisel metotlardan birisi olan yapay arı koloni (ABC) algoritması kullanılmıştır. Farklı duvar yükseklikleri ve kullanılan duvar malzemesinin karakteristik dayanımları için örnekler ele alınmış ve bu karakteristiklerin kesit geometrisine etkileri incelenerek sonuçlar tartışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** *Ağırlık istinat duvarı, Malzeme karakteristik dayanımı, Optimum tasarım, Yapay arı koloni algoritması*

**OPTIMUM DESIGN OF THE SYMMETRICAL GRAVITY RETAINING WALLS****ABSTRACT**

Retaining walls are one of the important applications in civil engineering. When the height of the wall is not too high, the gravity retaining walls, which are one of the retaining wall types, are widely used. Since the shear and bending moments in the wall sections are carried by the wall material in the gravity retaining walls, there is no need for reinforcement in the wall and more economical wall design can be made. Because many failure modes, design requirements and design constraints need to be considered together for the design of retaining walls, the problem has to be considered as an optimization problem. In this study, the artificial bee colony (ABC) algorithm, which is one of the heuristic methods, is used for the optimum design of symmetrical gravity retaining walls. Examples of different heights of wall and characteristics strengths of the used wall material are handled, and the effects of these characteristics on the cross-section geometry are investigated and the results are discussed.

**Keywords:** *Gravity retaining wall, Characteristic strength of material, Optimum design, Artificial bee colony algorithm*

## 1. GİRİŞ

İstinat duvarları, aralarında kot farkı olan zemin tabakalarının düşey olarak durmasını ve stabilitesini sağlayabilmek için inşa edilen ve inşaat mühendisliği uygulamalarında sıklıkla kullanılan yapılardır. İstinat duvarları; ağırlık istinat duvarı, betonarme konsol istinat duvarı, payandalı istinat duvarı gibi farklı türlerde inşa edilebilmektedir. İstinat duvarı türünün seçimindeki en temel faktör, duvar yüksekliği ve buna bağlı olarak duvar maliyetidir. Duvar yüksekliğinin 3-4 m ile sınırlı kaldığı durumlarda, ağırlık duvarlar ekonomik olurken, duvar yüksekliğinin 8 m'ye kadar olması durumunda betonarme konsol istinat duvarlar tercih edilmekte, duvar yüksekliğinin daha da fazla olması durumunda ise ekonomik tasarım için payandalı istinat duvarları veya yeni nesil istinat duvarları yapılmaktadır. Özellikle karayolu uygulamalarında, yarma ve dolgu yüksekliklerinin çok fazla olmadığı durumlarda ağırlık istinat duvarları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip duvarlarda, stabilite, duvar gövdesinin kendi ağırlığı ile sağlanmaktadır. Duvar gövdesi, eğilme momentlerine bağlı çekme gerilmelerinin oluşumundan kaynaklanacak yenilmeye sebep vermeyecek şekilde tasarlandığı için, duvarda donatı kullanımına gerek kalmamaktadır. Bu nedenle ağırlık duvarların imalatında, genellikle harçlı taş bloklar veya donatısız ve yüksek dayanıma sahip olmayan kütle betonlar kullanılmaktadır.

İstinat duvarlarının analiz ve tasarımı sırasında birçok farklı göçme modunun birlikte düşünülmesi gerekmektedir. Tasarlanan istinat duvarının bir bütün olarak devrilme, kayma ve temel zemini açısından stabil olmasının yanı sıra duvarın gövdesinde oluşacak gerilmelerin duvar kesitinde kullanılan malzeme tarafından emniyetli olarak karşılanması sağlanmalıdır. Ekonomik bir tasarım için duvar kesit ölçülerinin seçimi bir deneme yanılma süreci şeklinde ilerlemekte, özellikle duvarın farklı kesitlerinde oluşacak gerilmelerin ve bu kesitlerin taşıma kapasitelerinin belirlenmesi oldukça zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenle, ağırlık istinat duvar tasarımının bir optimizasyon problemi olarak ele alınması pratik uygulamalarda büyük yarar sağlayacaktır. Günümüzde, özellikle kullanım kolaylığı, optimum değere yakınsama hızı, optimum değeri belirleyebilmek ve nonlineer problemlerde de uygulanabilirliği gibi önemli avantajlara sahip olmasından dolayı, sezgisel metotlar mühendislik problemlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında, Karaboga [1] tarafından geliştirilen yapay arı koloni algoritmasının (Artificial Bee Colony, ABC) diğer sezgisel yöntemlere kıyasla daha az algoritma parametresine ihtiyaç duyması ve algoritmanın performansının yüksek olmasından dolayı, sıkça kullanılan bir yöntem haline gelmiştir [2, 3].

Literatürdeki istinat duvarları ile ilgili optimizasyon çalışmalarının betonarme istinat duvarlarının tasarımı üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [4-8]. Ancak, inşaat mühendisliği uygulamalarında ağırlık istinat duvarlarının kullanım alanları yadsınamayacak kadar geniş olmasına karşın, bu duvarların optimum tasarımına yönelik çalışmaların oldukça kısıtlı oldukları görülmektedir. Bu alanda, Talatahari ve çalışma arkadaşları [9, 10], yüklü sistem arama algoritması kullanarak duvarın sadece dış stabilite koşullarını sağlayan optimum tasarım problemi üzerinde çalışmışlardır. Sadoğlu [11], teorik tasarım boyutları için simetrik ağırlık istinat duvarının optimizasyon problemini nonlineer programlamaya dayalı iç nokta yöntemi kullanarak ele almıştır. Bu çalışmada ise, uygulamadaki sınırlamaları ve tasarım gereksinimlerini tam olarak esas alan simetrik ağırlık istinat duvarlarının optimizasyonu incelenmiştir. Problemin optimizasyonu için yapay arı koloni algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın verimliliğini ve kullanılabilirliğini belirlemek için nümerik örnekler kullanılmış ve duvar malzemesinin dayanım karakteristiklerinin duvar geometrisine etkileri araştırılmıştır.

## 2. YAPAY ARI KOLONİ (ABC) ALGORİTMASI

Yapay arı koloni (ABC) algoritması, arıların yiyecek arama davranışını modellemek için Karaboga [1] tarafından önerilmiş sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. Algoritma kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılabilir [12, 13]. ABC algoritması, işçi arı fazı, gözcü arı fazı ve kaşif arı fazı olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Diğer sürü tabanlı arama algoritmalarında olduğu gibi, ABC algoritması da iteratif bir süreç takip etmektedir. Algoritmanın detaylarına birçok kaynaktan ulaşmak mümkün olup, Karaboga ve Akay [13] tarafından önerilen modifiye ABC algoritmasının kısa bir özeti aşağıda verilmiştir.

1. *Başlangıç popülasyonu:* Algoritma ilk olarak, çözüm uzayında rastgele dağılmış başlangıç popülasyonu üretmektedir. Rastgele yer belirleme aşaması, her bir tasarım değişkeninin alt sınırları ( $x_j^{\min}$ ) ve üst sınırları ( $x_j^{\max}$ ) içerisinde kalacak şekilde Eş. 1'e göre gerçekleştirilmektedir.

$$x_j^i = x_j^{\min} + rand(0,1) \times (x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (1)$$

Burada,  $i$  indisi,  $i$ . işçi arıyı ifade etmektedir ( $i = 1, 2, \dots, SN$ ).  $j$  indisi,  $j$ . tasarım değişkenini göstermektedir ( $j = 1, 2, \dots, D$ ).  $SN$ , popülasyondaki işçi arı sayısı;  $D$ , tasarım değişkenleri sayısı;  $rand(0,1)$  ise  $[0,1]$  aralığında seçilen rastgele bir sayıdır.

2. *İşçi arı fazı:* Bu aşamada, algoritma iterasyon sürecine başlar ve yeni çözümler geliştirmek için kullanılan işçi arılar, mevcut yiyecek kaynağının komşuluğundaki yeni kaynakların ( $v_j^i$ ) yerlerini Eş. 2'ye göre belirlerler. Bu çalışmada kullanılan modifiye ABC algoritmasında [13], işçi arının hafızasındaki mevcut yiyecek kaynağı ( $x_j^i$ ) ile yeni yiyecek kaynağının ( $v_j^i$ ) kalitesinin karşılaştırılması ve seçim işlemi Deb'in kuralına göre yapılmaktadır.

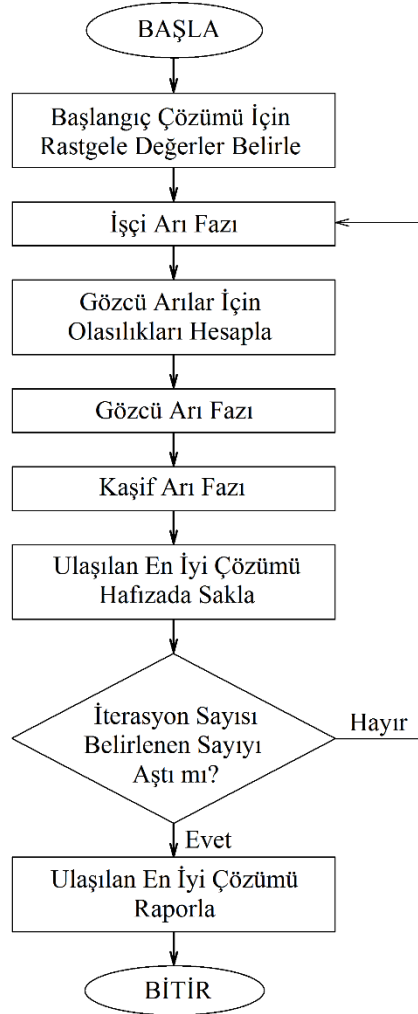
$$v_j^i = \begin{cases} x_j^i + \Phi_j^i (x_j^i - x_j^k) & , R_j < MR \\ x_j^i & , R_j \geq MR \end{cases} \quad (2)$$

Burada,  $k$  indisi,  $i$ 'den farklı ve 1 ile  $SN$  arasında rastgele bir yiyecek kaynağıdır.  $\Phi_j^i$ ,  $[-1,1]$ ;  $R_j$  ise  $[0,1]$  aralığında uniform dağılmış rastgele reel bir sayıdır.  $MR$ , modifikasyon oranı ise modifiye ABC algoritmasının bir kontrol parametresi olup  $[0,1]$  arasında seçilen reel bir sayıdır.

3. *Gözcü arılar için olasılık hesabı:* Tüm işçi arılar arama sürecini tamamladıktan sonra, yiyecek kaynaklarının kalitesi ve yerleri ile ilgili bilgileri gözcü arılar ile paylaşırlar. Gözcü arılar ise uygunluk değerleri (fitness) ve ihlal değerlerine (violation) bağlı olarak rulet tekeri yöntemi ile hesaplanan olasılık değerlerine göre arama yapacakları kaynak için olasılıksal seçme işlemi yaparlar.

4. *Gözcü arı fazı:* Gözcü arılar da tıpkı işçi arılar gibi, yiyecek kaynağı etrafında Eş. 2 ile belirtilen ifadeye göre yeni yiyecek kaynakları aramaktadırlar. Yeni çözümler ile eski çözümleri karşılaştırırlar ve daha iyi çözümleri hafızasında tutarlar. Eğer Eş. 2 ile belirlenen noktadaki amaç değeri çözümde bir iyileştirme sağlayamıyorsa, hata değeri 1 artırılır. Hata değerinin, algoritmanın parametrelerinden biri olan limit değerini aşması durumunda, o yiyecek kaynağı etrafında daha iyi bir çözümün bulunamadığı kanaatine varılır ve ilgili arı da kaşif arıya dönüşür.

5. Kaşif arı fazı: Modifiye ABC algoritmasının bu son aşamasında kaşif arılar, Eş. 1’de tanımlanan ifadeye göre rastgele çözümler aramaya başlarlar. Tanımlanan bu aşamalar maksimum döngü sayısı (MCN) kadar tekrarlanarak elde edilen en iyi çözüm kaydedilir ve algoritma sonlandırılır. Bu çalışmada kullanılan ABC algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Modifiye ABC algoritması akış diyagramı.

### 3. AĞIRLIK İSTİNAT DUVARLARININ TASARIMI

Simetrik ağırlık istinat duvarının tipik bir gösterimi ve duvara etki ettiği varsayılan gerilmelerin dağılımı Şekil 2’de verilmektedir. Duvara etki eden düşey kuvvetler, duvarın gövdesinin ve duvar arkasındaki dolgunun ağırlıkları; yatay kuvvetler ise, dolgudan ve sürşarj yükünden kaynaklanan yanıl kuvvetlerdir. Duvara etki eden yatay kuvvetler, yanıl toprak basıncı teorilerinden yararlanılarak



$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_D}{\Sigma V} \quad (3)$$

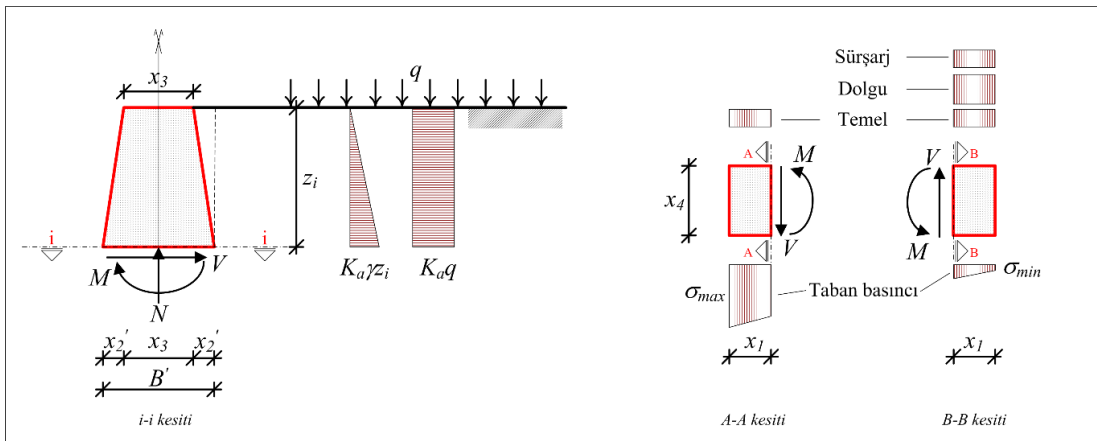
Ağırlık istinat duvarları için iç stabilite analizlerinde ise genellikle Şekil 3'deki gibi duvar gövdesinin farklı kesitleri (Şekil 2'deki 1-1, ..., n-n kesiti gibi) ve temelin kritik kesitlerine (Şekil 2'deki A-A, B-B kesiti gibi) etki eden tasarım basınç ve çekme gerilmeleri ile tasarım kesme kuvvetlerinin ( $V_d$ ) duvar malzemesi tarafından karşılanıp karşılanamadığı kontrol edilmektedir. Yükleme durumlarında oluşacak farklılıklar sebebiyle, betonarme ve çelik yapı tasarımlarında olduğu gibi ağırlık istinat duvarlarında da yük kombinasyonlarının kullanımı emniyetli tasarım açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, TS 500/2000'de [15] tarif edilen yük birleşimleri dikkate alınmıştır. Yük kombinasyonları sonrasında tüm kesitler için oluşacak tasarım basınç, çekme gerilmeleri ve kesme kuvvetlerinin Denklem 4-6'da tanımlandığı üzere duvarda kullanılan malzeme tarafından emniyetli olarak karşılanması gerekmektedir. Bu ifadelerde yer alan eğilmede basınç ve çekme gerilmelerinin hesaplanması sırasında farklı yük kombinasyonlarından elde edilen tasarım momentleri ve normal kuvvetlerinin en olumsuz durumu kullanılmıştır. İfadelerde basınç gerilmeleri için pozitif, çekme gerilmeleri için negatif işaret kabulleri yapılmıştır.

$$\sigma_{\max,i} = \frac{N_d}{1 \times B'} + \frac{6M_d}{1 \times (B')^2} \leq f_{cd} \quad (4)$$

$$-\sigma_{\min,i} = \frac{6M_d}{1 \times (B')^2} - \frac{N_d}{1 \times B'} \leq f_{ctd} \quad (5)$$

$$V_d \leq V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times 1 \times B' \quad (6)$$

Burada;  $f_{cd}$  ve  $f_{ctd}$ , kullanılan duvar malzemesinin sırasıyla tasarım basınç ve çekme dayanımları;  $B'$  ele alınan duvar gövdesi kesitinin genişliğidir. Tasarım basınç ve çekme dayanımları hesabında beton malzeme katsayısı 1.5 olarak alınmıştır.



Şekil 3. Kritik kesitlere etki eden gerilme dağılımları.

#### 4. OPTİMİZASYON PROBLEMİNİN TANIMI

Bu çalışma kapsamında, simetrik ağırlık istinat duvarı tasarımı için tasarım değişkenleri duvar kesitinin geometrik boyutları ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ) olarak seçilmiştir. Simetrik ağırlık istinat duvarı optimizasyon problemi için tasarım gereksinimleri dış stabilite yenilme kısıtları, iç stabilite yenilme kısıtları ve geometrik kısıtlar olarak seçilmiştir. İç stabilite analizlerinde duvar gövdesi beş eşit parçaya bölünerek bu kesitler üzerinde, duvar temelinde ise burun ve topuk kısımlarının gövde ile birleştiği kesitlerde yenilme tahkikleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, duvarın dik olmaması için, uygulamada önerilen ön yüzünün eğimi en az 50:1 olacak şekilde geometrik kısıt eklenmiştir [16]. Optimizasyon problemi için normalize edilmiş tasarım kısıtları Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1’deki tasarım kısıtları, duvar gövdesindeki iç stabilite tahkikleri için beş eşit parçaya bölünerek ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ), duvar temelinde ise iki kesitte ( $j = A, B$ ) olacak şekilde çoğaltılmıştır. Bu nedenle, optimizasyon analizlerinde toplam 26 tane tasarım kısıtı kullanılmıştır. Tasarımı yapılan ağırlık istinat duvarının uygulanabilir nitelikte boyutlara sahip olabilmesi açısından imalat kısıtlaması ile ilgili Çizelge 2’de verilen alt ve üst sınırlar kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Normalize edilmiş tasarım kısıtları.

Tasarım Kısıtları	Tanımlama
$g_1(X) = \frac{FS_{(d,\min)}}{FS_{(devrilme)}} - 1 \leq 0$	Devrilme yenilmesi
$g_2(X) = \frac{FS_{(k,\min)}}{FS_{(kayma)}} - 1 \leq 0$	Kayma yenilmesi
$g_3(X) = \frac{FS_{(t,\min)}}{FS_{(tasima)}} - 1 \leq 0$	Taşıma gücü yenilmesi
$g_4(X) = \frac{1}{FS_{(cekme)}} - 1 \leq 0$	Eksantrisite yenilmesi
$g_{5,i}(X) = \frac{\sigma_{\max,g,kesit}}{f_{cd}} - 1 \leq 0$	Duvar kesitleri basınç yenilmesi
$g_{6,i}(X) = \frac{-\sigma_{\min,g,kesit}}{f_{ctd}} - 1 \leq 0$	Duvar kesitleri çekme yenilmesi
$g_{7,i}(X) = \frac{V_{d,g,kesit}}{V_{r,kesit}} - 1 \leq 0$	Duvar kesitleri kesme yenilmesi
$g_{8,j}(X) = \frac{\sigma_{\max,t,kesit}}{f_{cd}} - 1 \leq 0$	Temel kesitleri basınç yenilmesi
$g_{9,j}(X) = \frac{-\sigma_{\min,t,kesit}}{f_{ctd}} - 1 \leq 0$	Temel kesitleri çekme yenilmesi
$g_{10,j}(X) = \frac{V_{d,t,kesit}}{V_{r,kesit}} - 1 \leq 0$	Temel kesitleri kesme yenilmesi
$g_{11}(X) = \frac{H_1/x_2}{50} - 1 \leq 0$	Geometrik kısıt

Dolgu zemini ve temel zemininin özellikleri, dış yükler, minimum güvenlik sayıları, duvar malzemesi dayanım karakteristikleri gibi parametreler ise Çizelge 3’de verilen girdi parametreleri olarak düşünülmüştür. Bu çalışmada, simetrik ağırlık istinat duvarının optimum tasarımı için amaç fonksiyonu, en düşük ağırlıklı (başka bir ifade ile en düşük kesit alanına sahip) istinat duvarı elde etmek olarak belirlenmiş ve Eş.7’de verilmiştir. Problemi basitleştirebilmek için kazı, dolgu, sıkıştırma, kalıp işçilikleri ve malzeme kaybı gibi maliyetler ihmal edilmiştir.

$$f(x) = \min W \quad (7)$$

**Çizelge 2.** Tasarım değişkenleri için alt ve üst limitler.

Tasarım değişkenleri	Alt Limit	Üst Limit
$x_1$	0.0	2.0
$x_2$	0.0	2.0
$x_3$	0.3	2.0
$x_4$	0.3	2.0

**Çizelge 3.** Optimizasyon problemi için girdi parametreleri ve analizlerde kullanılan değerler.

Girdi parametreleri	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Duvarın yüksekliği (H)	2 m	3 m	4 m
Sürşarj yükü (q)	0 kPa	10 kPa	20 kPa
Dolgu için içsel sürtünme açısı ( $\phi_1$ )	30°	32°	34°
Pasif direnç ( $P_p$ )	0	0	0
Duvarın önündeki zemin yüksekliği ( $D_f$ )	0.5 m	0.7 m	1 m
Temel zemini içsel sürtünme açısı ( $\phi_2$ )	30°	34°	0°
Temel zemini kohezyonu ( $c_2$ )	20 kPa	50 kPa	100 kPa
Dolgunun birim hacim ağırlığı ( $\gamma_1$ )	16 kN/m <sup>3</sup>	17 kN/m <sup>3</sup>	18 kN/m <sup>3</sup>
Temel zemininin birim hacim ağırlığı ( $\gamma_2$ )	18 kN/m <sup>3</sup>	18 kN/m <sup>3</sup>	18 kN/m <sup>3</sup>
Duvar malzemesi birim hacim ağırlığı ( $\gamma_c$ )	24 kN/m <sup>3</sup>	24 kN/m <sup>3</sup>	24 kN/m <sup>3</sup>
Duvar malzemesi basınç dayanımı ( $f_{cd}$ )	12.0 MPa	13.3 MPa	16.7 MPa
Duvar malzemesi çekme dayanımı ( $f_{ctd}$ )	1.0 MPa	1.1 MPa	1.2 MPa
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı ( $FS_{d,min}$ )	2.0	2.0	2.0
Kaymaya karşı güvenlik sayısı ( $FS_{k,min}$ )	1.5	1.5	1.5
Taşıma gücü için güvenlik sayısı ( $FS_{t,min}$ )	3.0	3.0	3.0



## 5. SAYISAL UYGULAMALAR

Çalışma kapsamında, optimizasyon probleminin performansını ve güvenilirliğini ortaya koymak için duvar yüksekliğinin 2 m, 3 m ve 4 m olduğu üç örnek ele alınmıştır. Bu örneklerde kullanılan girdi parametreleri Çizelge 3’de verilmiştir. Kullanılan ABC algoritmasının parametre değerleri ise koloni sayısı, CS = 100, modifikasyon oranı, MR = 0,8, limit = 400 ve maksimum döngü sayısı, MCN = 1000 olarak seçilmiştir. Her bir problem için optimizasyon analizi birbirinden bağımsız olarak 30 kez tekrarlanmıştır. Aşağıda ifade edilen sonuçların değerlendirilmesi aşamasında her bir bağımsız analizden elde edilen en iyi çözümlerin ortalamaları kullanılmıştır.

Ele alınan üç örnek için ağırlık istinat duvarı optimizasyon problemi çözümünden elde edilen tasarım değişkenleri Çizelge 4’de verilmiştir ve sonuçlar uygulamadaki geometrileri itibarıyla Şekil 4’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarında belirlenen normalize edilmiş tasarım kısıtlarının değerleri ise Çizelge 5’de görülmektedir. Çizelgede koyu olarak yazılan değerler çalışan kısıtları ifade etmektedir. Bu sonuçlar ele alınan üç örnek için aktif olarak çalışan kısıtların  $g_4(x)$ ,  $g_{6,5}(x)$ ,  $g_{9,A}(x)$  ve  $g_{11}(x)$  kısıtları olduğunu göstermektedir. Bu kısıtların, sırasıyla, temel zemini altındaki eksantrisite yenilmesi, duvar gövdesinin temelle birleştiği (5-5 kesiti) kesitteki, temel burnunun duvar gövdesi ile birleştiği (A-A kesiti) kesitteki çekme gerilmesi yenilemelerinin ve duvar ön yüzünün maksimum eğim sınırlaması olduğu görülmektedir. Burada dış stabilite kısıtları arasında sadece eksantrisite yenilme modunun çalışıyor oluşu, temel zemini parametrelerinin yüksek seçilmiş olması ile ilişkili olup, farklı problemlerde diğer kısıtların da aktif olarak çalışmaları oldukça olasıdır. Ancak, gerek duvar gövdesi gerekse temel için iç stabilite analizlerinde eğilme momentinden kaynaklı çekme gerilmelerinin ağırlık istinat duvarlarının tasarımına esas teşkil edecek nitelikte olduğu görülmektedir. Bu durum, tasarım gereği çekme gerilmelerini karşılayarak donatıların kullanılmadığı bu tip duvarların boyutlandırma esaslarını doğrular niteliktedir. Duvar yüksekliğinin 2 m olduğu Önek 1’de ise duvar gövdesinde 5-5 kesitinde yeterli çekme dayanımı mevcut olmasına rağmen, duvar ön yüzündeki eğim sınırlaması nedeniyle  $x_2$  değişkeninin değer aldığı görülmektedir. Algoritmanın performansı açısından bir diğer değerlendirme ise Çizelge 4’deki tasarım değişkenlerinin değerleri üzerinden yapılabilmektedir. Gerçekleştirilen analiz sonuçlarında sınır koşulları arasında duvar üst genişliğinin ( $x_3$ ) de tüm örneklerde alt sınırdaki olduğu görülmektedir. Bu değişkenin teorik olarak boyutunun küçültülmesi mümkün olmasına rağmen, pratik anlamda bu genişliğin gerek taş duvarlardaki imalat, gerekse beton duvarlarda beton yerleşimi açısından gerekli olacağı düşünüldüğünden, algoritmanın çalışan bir diğer kısıtının  $x_3$  değişkeninin limitleri olduğu rahatlıkla söylenilebilir. Benzer şekilde Önek 1’de de temel kalınlığının ( $x_4$ ) alt limite çalıştığı görülmektedir. ABC algoritması ile elde edilen ve Çizelge 4 ve 5’de verilen bu değerlerin, kısıtlara ve limitlere yakın elde edilmesi, programın tüm tasarım gereksinimlerini sağlayan optimum noktayı bulma aşamasındaki yeterliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Yukarıda ele alınan örneklerde görüleceği üzere, ağırlık istinat duvarlarının boyutlarının belirlenmesi üzerinde en önemli faktörün duvar malzemesinin çekme dayanımının ( $f_{ctd}$ ) olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde, duvar malzemesinin çekme dayanımının tam olarak kullanılmaması durumu için ikinci bir örnek grubu daha oluşturulmuştur. Bu örnek grubunda, Çizelge 3’de girdi parametreleri verilen üç örnek tekrar ele alınmış, ancak bu yeni analizlerde duvar malzemesinin çekme dayanımı  $0.5 \times f_{ctd}$  olarak azaltılmıştır. Bu durum için elde edilen duvar kesitine ait boyutlar ise Çizelge 4’de Durum 2 olarak verilmiş ve şematik olarak Şekil 4’de gösterilmiştir. Şekil 4 üzerinden, çekme dayanımı  $f_{ctd}$  olarak alındığı duruma ait boyutlar düz çizgi olarak,  $0.5 \times f_{ctd}$  olarak alınması halindeki boyutlar ise kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Her üç örnekte de, duvarın temel zemini

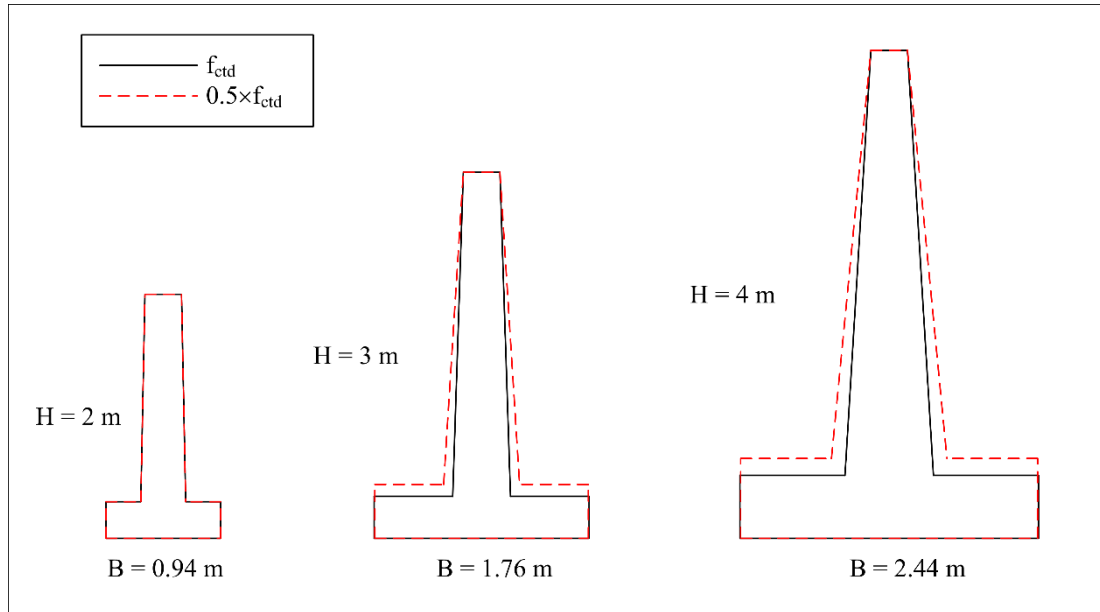
**Çizelge 4.** Malzeme çekme dayanımı kapasitesine göre ( $f_{ctd}$  ve  $0.5 \times f_{ctd}$  için) tasarım değişkenleri.

Durum	Durum 1: Çekme dayanımı = $f_{ctd}$			Durum 2: Çekme dayanımı = $0.5 \times f_{ctd}$		
Değişken	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
$x_1$ (m)	0.2860	0.6445	0.8621	0.2860	0.5639	0.7444
$x_2$ (m)	0.0340	0.0869	0.2126	0.0340	0.1616	0.3237
$x_3$ (m)	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
$x_4$ (m)	0.3000	0.3442	0.5160	0.3000	0.4422	0.6542
$f(x)$ (kN/m)	20.3957	39.2275	73.1890	20.3957	46.9175	88.3325

**Çizelge 5.** Durum 1'e ait örnekler ( $f_{ctd}$ ) için tasarım kısıtları değerleri.

Tasarım kısıtları	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Tasarım kısıtları	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
$g_1(x)$	-0.11582	-0.05051	-0.04701	$g_{7,1}(x)$	-0.99758	-0.98417	-0.97243
$g_2(x)$	-0.30307	-0.44297	-0.41824	$g_{7,2}(x)$	-0.99072	-0.96239	-0.94405
$g_3(x)$	-0.83491	-0.93527	-0.44208	$g_{7,3}(x)$	-0.97996	-0.93620	-0.91523
$g_4(x)$	<b>3.7E-10</b>	<b>9.5E-09</b>	<b>-6.4E-12</b>	$g_{7,4}(x)$	-0.96574	-0.90665	-0.88615
$g_{5,1}(x)$	-0.99880	-0.99514	-0.99242	$g_{7,5}(x)$	-0.94845	-0.87448	-0.85690
$g_{5,2}(x)$	-0.99614	-0.98305	-0.97776	$g_{8,A}(x)$	-0.98157	-0.91729	-0.92814
$g_{5,3}(x)$	-0.99093	-0.96404	-0.95981	$g_{8,B}(x)$	-0.99032	-0.93514	-0.93702
$g_{5,4}(x)$	-0.98242	-0.93877	-0.94012	$g_{9,A}(x)$	-0.77878	<b>3.9E-09</b>	<b>1.3E-08</b>
$g_{5,5}(x)$	-0.97015	-0.90799	-0.91940	$g_{9,B}(x)$	-0.88383	-0.21581	-0.12355
$g_{6,1}(x)$	-1.00398	-0.96673	-0.92356	$g_{10,A}(x)$	-0.88826	-0.74645	-0.71505
$g_{6,2}(x)$	-0.98981	-0.84406	-0.74481	$g_{10,B}(x)$	-0.94159	-0.79666	-0.74335
$g_{6,3}(x)$	-0.94445	-0.63632	-0.51852	$g_{11}(x)$	<b>2.7E-07</b>	-0.38902	-0.67219
$g_{6,4}(x)$	-0.85911	-0.35191	-0.26677				
$g_{6,5}(x)$	-0.72806	<b>-3.4E-10</b>	<b>4.1E-11</b>				

üzerinde kayması problem teşkil etmemesi sebebiyle temel genişliğinin değişmediği, benzer şekilde uygulanabilirlik sınırlaması olarak da duvar üst genişliğinin her iki çekme dayanımı için sabit kaldığı görülmektedir. Duvar kesiti üzerinde en büyük eğilme momentlerinin gerçekleştiği 5-5 kesiti ( $B' = 2x_2+x_3$ ) ve A-A kesitinde ( $B' = x_4$ ) ise genişliğin artırılması gerektiği anlaşılmaktadır. Çizelge 4'deki Durum 1 ve Durum 2 birlikte yorumlandığında, duvar yüksekliğinin 2 m olduğu Örnek 1'de, çekme dayanımı ile ilgili hiçbir kısıtın çalışmıyor olması nedeniyle, çekme dayanımının azaltılması boyutlarda ve amaç fonksiyonunda değişikliğe sebep olmamıştır. Ancak, diğer örneklerde çekme dayanımının %50 oranında azaltılması sonucunda; duvar gövdesinin alt genişliğinin ( $2x_2+x_3$ ) ortalama %31 oranında arttığı,  $x_4$  genişliğinin ortalama %28 oranında arttığı,  $x_3$  genişliğinin bu durumdan etkilenmediği, temel genişliğinin değişimine gerek kalmamış olması nedeniyle  $x_2$ 'nin artışında dolayı  $x_1$  genişliğinin ise %13 civarında azaldığı görülmektedir. Birim uzunluktaki ağırlık istinat duvarı için, 3 m ve 4 m'lik bu örnek duvarlarda, duvar kesit ağırlıklarının ise yaklaşık olarak %20 arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4. Malzeme karakteristik çekme dayanımının duvar geometrisine etkisi.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, inşaat mühendisliği uygulamalarında sıklıkla tasarlanan simetrik ağırlık istinat duvarlarının optimum tasarımı problemi ele alınmıştır. Optimizasyon probleminin çözümünde sezgisel metotlardan birisi olan yapay arı koloni algoritması kullanılmıştır. Duvar tasarımı gereksinimleri için duvarın devrilme, kayma, zeminin taşıma gücü ve çekme gerilmesi oluşumu kısıtları ile duvarın gövdesi ve temelindeki farklı kesitlerde oluşan kesme, eğilmeden kaynaklı basınç ve çekme gerilmesi kısıtları kullanılmıştır. Ayrıca, analizler sonunda uygulanabilir gerçekçi duvar boyutlarının elde edilebilmesi için ilave geometrik kısıtlamalar, alt ve üst limitler tanımlanmıştır. Analiz sonuçlarında, seçilen kısıtların aktif olarak çalışıyor oluşları, kullanılan algoritmanın optimum değere yeterli düzeylerde yakınsayabildiğini göstermiştir. Ele alınan örneklerde, gerek duvar gövdesi

gerekse duvar temeli için ağırlık istinat duvarlarının tasarımına esas teşkil edecek yenilme modunun kesitlerde oluşan eğilme momentinden kaynaklı çekme gerilmelerinin malzemenin çekme dayanımına ulaşması durumunda gerçekleştiği açıkça görülmüştür. Bu nedenle, duvar malzemesinin çekme kapasitenin tam olarak ( $f_{ctd}$ ) veya %50'sinin ( $0.5 \times f_{ctd}$ ) dikkate alınması durumları için optimum duvar tasarımları gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlarda duvar gövde ve temelinin birleşim bölgeleri üzerinde kesit genişliklerinin değişim göstereceği tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan algoritma malzeme karakteristikleri bilinen farklı duvar malzemeleri ve zemin koşulları için kullanılabilir nitelikte olması sebebiyle, uygulamadaki gerçekçi boyutlardaki simetrik ağırlık istinat duvarlarının minimum maliyetli tasarımında da kullanılabilir olacaktır.

#### KAYNAKÇA

- [1] Karaboga, D., (2005). An idea based on honey bee swarm form numerical optimization. Technical Report TR06, Erciyes University, Turkey.
- [2] Karaboga D., Basturk B., (2008). On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. Applied Soft Computing, 8(1), 687-697.
- [3] Bolaji A.L., Khader A.T., Al-Betar M.A., and Awadallah M.A., (2013). Artificial Bee Colony Algorithm, Its Variants and Applications: A Survey. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 47(2), 434-459.
- [4] Sheikholeslami, R., Khalili, B.G., Sadollah, A., and Kim, J.H., (2016). Optimization of Reinforced Concrete Retaining Walls via Hybrid Firefly Algorithm with Upper Bound Strategy. KSCE Journal of Civil Engineering, 20(6), 2428-2438.
- [5] Gandomi, A.H., Kashani, A.R., Roke, D.A., and Mousavi, M., (2017). Optimization of Reinforced Wall Design Using Evolutionary Algorithms, Structural and Multidisciplinary Optimization. 55(3), 809-825.
- [6] Aydogdu, I., (2017). Cost optimization of reinforced concrete cantilever retaining walls under seismic loading using a biogeography-based optimization algorithm with Levy flights. Engineering Optimization, 49(3), 381-400.
- [7] Ukritchon, B., Chea, S., and Keawsawasvong, S., (2017). Optimal Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls Considerinh the Requirement of Slope Stability. KSCE Journal of Civil Engineering, 21(7), 2673-2682.
- [8] Dağdeviren, U., Kaymak, B., (2018). Investigation of Parameters Affecting Optimum Cost Design of Reinforced Concrete Retaining Walls using Artificial Bee Colony Algorithm. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(1), 239-253.
- [9] Talatahari, S., Sheikholeslami, R., Shadfaran, M., and Pourbaba, M., (2012). Optimum Design of Gravity Retaining Walls Using Charged System Search Algorithm. Mathematical Problems in Engineering, Volume 2012, Article ID 301628, 1-10.

- [10] Talatahari, S., Sheikholeslami, R., (2014). Optimum Design of Gravity and Reinforced Retaining Walls Using Enhanced Charged System Search Algorithm. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1464-1469.
- [11] Sadoğlu, E., (2014). Design Optimization for Symmetrical Gravity Retaining Walls. *Acta Geotechnica Slovenica*, 11(2), 71-79.
- [12] Karaboga D., Basturk B., (2007). Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving Constrained Optimization Problems, *LNCS: Advances in Soft Computing: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing. Vol: 4529/2007, 789-798, Springer- Verlag.*
- [13] Karaboga D., Akay B., (2011). A Modified Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Constrained Optimization Problems. *Applied Soft Computing*, 11(3), 3021-3031.
- [14] Venkatramaiah C., (2006). *Geotechnical Engineering. Third Edition. New Age International Publishers.*
- [15] TS 500-2000, (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü.*
- [16] Das B.M., (2016). *Principles of Foundation Engineering. Eighth Edition. Cengage Learning.*