

# RAO\_1 OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK TABAN PLAĞI DIŞLI BETONARME KONSOL İSTİNAT DUVARI TASARIMI

*Elif Nur KALEMCI* \*<sup>ID</sup>  
*Sabriye Banu İKİZLER* \*<sup>ID</sup>  
*Tayfun DEDE* \*<sup>ID</sup>  
*Zekai ANGIN* \*<sup>ID</sup>

Alınma: 09.10.2019; düzeltme: 01.11.2019; kabul: 06.11.2019

**Öz:** Bu çalışmada, düşük ağırlığa sahip, tabanında dış kesit bulunan betonarme bir konsol istinat duvarı tasarımı optimizasyonu konu edilmiştir. Optimizasyon süreci için, daha önce istinat duvarı problemine uygulanmamış bir algoritma olan Rao\_1 algoritması kullanılmıştır. İstinat duvarı optimizasyonunda, problemi tanımlamak için 12 tasarım değişkeni ve 26 kısıt kullanılmıştır. Tasarım, Rankine yanal basınç teorisi yardımıyla, duvarın geoteknik stabilitesini korumak amacıyla duvarın kayma, dönme ve temelin taşıma gücüne karşı güvenlik katsayıları ile sınırlandırılmıştır. Betonarme tasarımın iç stabilitesini sağlamak üzere moment ve kayma kapasitesi için ACI 318-05 standardından faydalanılmıştır. Tasarım, taban plağı dışlı ve dışsız konsol istinat duvarları olan iki ayrı sayısal örnekle desteklenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon, Meta-sezgisel algoritma, İstinat Duvarı, Tasarım, Rao\_1

## Reinforced Concrete Cantilever Retaining Wall with the Shear Key Design by Using Rao\_1 Optimization Algorithm

**Abstract:** In this study, low-weight reinforced concrete retaining wall with the shear key design optimization is subjected. For optimization process, Rao\_1 algorithm, which was not implemented to the retaining wall problem before, is used. Twelve design variables and twenty-six constraints, which were constituted in order to define the problem, were used for retaining wall optimization. The design is restricted with the purpose of preserve the geotechnical stability of the wall with the safety factors against to sliding, overturning and bearing capacity failure modes by the help of the Rankine theory for lateral earth pressure. In order to provide internal stability of the wall for moment and shear capacity, it is utilized from ACI 318-05 standards. The design was supported with 2 different numerical examples, which they are the cantilever retaining wall with the shear key and without shear key.

**Keywords:** Metaheuristic Algorithms, Optimization, Retaining Wall Design, Rao\_1

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda önem kazanan yapay zekâ (YZ) çalışmalarını bir yere temellendirmek zor olsa da Norvig ve Russel (1995) gibi birçok araştırmacıya göre çalışmaların temeli, McCulloch ve Pitts (1943)'in yapay sinir hücresi modellemesidir. 2. Dünya Savaşı sırasında İngiliz bilim adamı Alan Turing'in şifre kırıcı olarak geliştirdiği, kendi kendine sayı dizilimi (şifreler) üretip

\*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080 TRABZON  
İletişim Yazarı: Sabriye Banu İKİZLER (banuh@ktu.edu.tr)

deneyen makine YZ düşünce biçimini oldukça etkilemiştir. Bir problem çözücü olarak görülmeye başlanan YZ, Charles Darwin'in evrim teorisinden esinlenilerek hazırlanan ve John Holland (1992)'in öncülüğünü yaptığı Genetik Algoritma ile Kirkpatrick ve diğ. (1983)'nin demirin tavlama işleminden esinlenilerek oluşturulan Benzetimli Tavlama algoritmalarıyla optimizasyon çalışmalarında yeni bir döneme girilmesini sağlamıştır. Böylece optimizasyon, karmaşık ve bilinmeyenlerle dolu problemleri hızlı ve etkili bir şekilde çözüme kavuşturabilecek seviyeye gelmiştir. 21. Yüzyılda da sağlık, mühendislik ve ekonomi gibi birçok çalışmada da varlığını sürdürmeye devam etmektedir.

Günümüzde inşaat mühendisliği çalışmaları tasarım aşaması için tecrübeli, sezgileri kuvvetli mühendislere ihtiyaç duymaktadır. Yine de maddi kaynakların ve vaktin tam verimle kullanımı söz konusu olmamaktadır. Bu aşamada kaynak açısından yapılacak her türlü tasarruf, inşa aşamasında fazlasıyla yararlı olacağından son zamanlarda hesaba dayalı problemlerin çözümünde, deneme yanılma yolu yavaş yavaş terk edilerek daha etkili ve hızlı çözümler bulma yoluna gidilmiştir. Bu çözüm yöntemlerinden optimizasyon; tasarım, analiz ve standartlara uygunluk açısından inşaat mühendisliğinde geniş çalışma alanı bulmuştur. İnşaat mühendisliği alanında; çelik kafes sistemlerinin, temel yapılarının, ulaşım ağlarındaki trafik sinyalizasyonunun optimum çözüme kavuşturulmasında etkin rol oynamaktadır. Bir yapının optimumluk durumu, aynı anda hem yapının stabil halde kalması için sağlanması gereken şartları sağladığı, hem de en ekonomik tasarıma sahip olduğu durumudur.

Ulaşım yapıları, temel, rıhtım yapısı vb. uygulamalarda faydalanılan istinat yapıları genel olarak; iki farklı düzeydeki zemine destek olarak stabilizasyonunu sağlar. Zemindeki davranışına, kullanılan yapı malzemesine vb. gibi birçok özelliğine göre sınıflandırılabilen istinat yapıları sistem rijitlikleri açısından rijit, yarı rijit ve esnek olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Yanal deformasyona maruz kalmadığı kabul edilen rijit dayanma yapıları sınıfına tabi olan istinat duvarları arasında, konsol istinat duvarları en yaygın kullanıma sahip olan duvar tipidir. Bu durumun sebebi yapının şeklinin verdiği avantajla, diğerlerine nazaran daha az materyalle benzer yanal desteği sağlayabilmesidir. Gövde, topuk ve burun kısımlarından oluşan konsol istinat duvarları yanal toprak basıncına karşı çalışmaktadırlar.

Rankine veya Coulomb'un yanal toprak basıncı teorilerinden faydalanılarak hesaplanan yanal itkilere karşı koyacak istinat duvarının, yeterli geoteknik ve yapısal dayanıma sahip olması gerekmektedir. Bu durum optimum tasarım için gerekli sınırları çizmeyi ve bu şartlar dahilinde optimum çözümü bulmayı sağlamaktadır.

Literatürde İnşaat mühendisliği alanında çeşitli optimum tasarım çalışmaları mevcuttur (Sarıbaş ve Erbatur, 1996; Singla ve Gupta, 2015; Mahmood ve Alam, 2015; Yang ve diğ., 2013; Monghasemi ve diğ, 2015). Konsol istinat duvarı konusunda da farklı çalışmalar vardır. Örneğin; Tonne ve Mohite (2015), payandalı ve hafifletme konsolu ile stabilitesi artırılmış betonarme konsol istinat duvarı optimizasyonu çalışmıştır.

Son dönemlerde kolay uygulanabilirliği, başarılı sonuçlar vermesi, yerel optimumlardan kaçmak konusunda başarısının artması ile gittikçe popüler hale gelen meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları da bu çalışmalara konu olmuştur. Belirli şartlar altında, belirli sonuçlara ulaşılacak deterministik ve Stokastik (olasılıksal) yöntemler global optimum çözüme ulaşması kesin olmasa da oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Meta sezgiseller stokastik yöntemlerdendir. Literatürde farklı meta sezgisel yöntemlerin uygulandığı istinat duvarı tasarımı optimizasyonu çalışmalarına rastlamak mümkündür.

Kaveh ve Suleimani (2015), betonarme konsol istinat duvarı optimizasyonu için Demokratik Parçacık Sürü Optimizasyonu (DPSO) ve Çarpışan Cisimler Optimizasyonu (CBO) algoritmalarını kullanmış, ardından sonuçları Geliştirilmiş Adaptasyon Araması (HIS) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmaları ile karşılaştırmıştır. Mohammed ve Hemin (2018) aynı optimizasyon problemine genetik algoritma ve yerel arama tekniklerinin bir kombinasyonu olan evrimsel metodu uygulamıştır. Gandomi ve diğ. (2017a) Dahili Arama Algoritmasını (ISA) istinat duvarı optimizasyonunda kullanmıştır. Araştırmacılar kısıt kontrolü

(BCH) yaklaşımlarını kullanarak optimizasyon tekniğini geliştirmeye çalışmışlardır. Gandomi ve diğ. (2017b) Nonlineer Kısıtlı Optimum Konsol İstinat Duvarı Tasarımı çalışmasında Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon algoritması (BBO), Evrimsel Strateji (ES) ve Diferansiyel Gelişim (DE) metotlarını kullanmıştır. Bu çalışmadan, Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon algoritmasının diğer algoritmalar içinde iki tasarım (taban plağı dişli ve dişsiz) için de en iyi sonucu verdiği sonucuna varılmıştır.

Lopez (2017) tarafından Arama Grubu Algoritması (SGA) ve Geriye dönük Arama Algoritması (BSA) ve Gandomi ve diğ. (2015) tarafından sürü zekâsı optimizasyon tekniklerinden olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Hızlandırılmış Parçacık Sürü Optimizasyonu (APSO), Ateşböceği algoritması (FA), Ağaçkakan Arama algoritması (CS), Molina-Moreno ve diğ. (2017) tarafından da Harmoni Arama (HS) algoritması ve Öztürk ve Türkeli (2019) tarafından Jaya algoritması aynı problemi çözmeye yönelik olarak kullanılmıştır.

Betonarme konsol istinat duvarının sismik etkenlere maruz kaldığı çalışmalar da literatürde mevcuttur. Bu konuda Aydoğdu (2017), Levy Yürüyüşü Dağılımı ile Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (LFBO) algoritmasını kullanarak sismik yük ve en büyük yer ivmesi (PGA)'ne bağlı hesaplamalar yapmıştır. Bir başka araştırmacı, Kaveh ve Laien (2017), aynı konuda; Titreyen Parçacık Sistemi (VPS) algoritmasının yanında Çarpışan Cisimler Optimizasyon (CBO) algoritması ve Geliştirilmiş Çarpışan Cisimler Optimizasyon (ECBO) algoritması metotlarını kullanmıştır. Kayabekir ve diğ. (2017), hem statik hem dinamik yükler etkisi altındaki konsol istinat duvarı optimum tasarımında, Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) algoritmasını kullanmışlardır. Kayhan ve Demir (2018), aynı konuyu Diferansiyel Gelişim (DE) algoritmasını kullanarak ele almıştır.

Bu çalışmada, taban plağı dişli ve dişsiz konsol istinat duvarı optimizasyonu için, bu alanda daha önce çalışılmamış meta sezgisel bir algoritma olan Rao\_1 algoritması kullanılmıştır. MATLAB bilgisayar programı üzerinde çalıştırılan algoritma, metaforsuz olduğundan sade ve anlaşılır bir yapıya sahiptir. Dayanma yapısının tasarımı için statik yatay zemin itkileri Rankine yanal basınç teorisine göre değerlendirilirken, dinamik itkiler kapsam dışı bırakılmıştır. Çalışmada, yapı ağırlığı amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan 12 adet tasarım değişkeninden 8 tanesi istinat duvarının geometrisini oluşturan tasarım değişkenleri olup, geri kalan 4 adet ise istinat duvarının donatı hesaplarında kullanılan tasarım değişkenleridir. Optimizasyon sürecinde, maksimum ve minimum donatı oranları, taban üzerinde kaymaya, devrilmeye ve temel taşıma gücüne karşı güvenlik katsayıları, geometrik boyut vb. gibi kıstaslar birer sınırlayıcı olarak dikkate alınmıştır. Betonarme tasarım hesapları, Amerikan beton enstitüsü (ACI 318-05) tasarım şartnamesine göre yapılmıştır.

## 2. RAO\_1 ALGORİTMASI

Rao (2020), metafor tabanlı teknikler geliştirmek yerine karmaşık problemleri çözebilecek basit optimizasyon yöntemleri geliştirmek üzerine odaklanılması gerektiğini öne sürmüştür. Bunun üzerine üç adet metaforsuz ve algoritmaya özel parametresiz optimizasyon algoritması geliştirmiştir. Bu yöntemlerden biri olan Rao\_1 algoritmasında diğer stokastik meta-sezgisel algoritmalaradakin benzer adımlar vardır. Bu adımlar;

- Rastgele çözümlerin yer aldığı bir çözüm kümesi olan başlangıç popülasyonu oluşturulması,
- Durdurma kriteri belirlenmesi
- En iyi ve en kötü çözümlerin belirlenmesi
- Çözüm kümelerine en iyi ve en kötü çözümlere dayalı rassal oranda iyileştirme yapılması şeklindedir.

Bu yöntemde en iyi ve en kötü çözüme dayalı olarak yeni çözümün oluşturulması aşağıdaki eşitlikle yapılmaktadır.

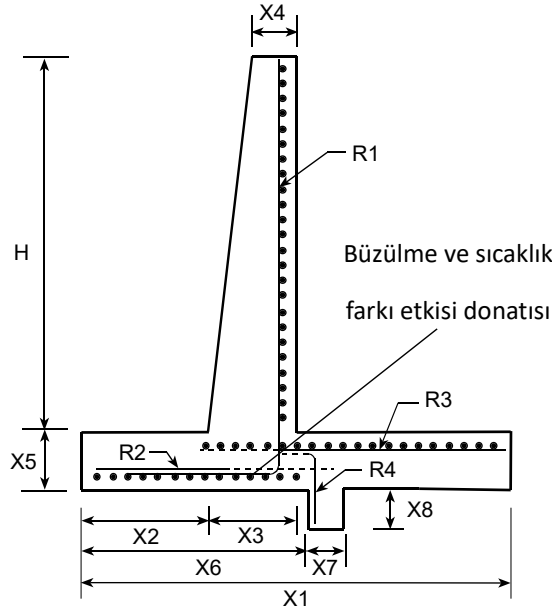
$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i}(X_{j,best,i} - X_{j,worst,i}) \quad (1)$$

Burada;  $X_{j,best,i}$ ,  $X_{j,worst,i}$ ,  $X'_{j,k,i}$  sırasıyla  $i$ . iterasyonun,  $j$ . değişkenin en iyi, en kötü ve iyileştirilmiş aday çözümleri,  $r_{1,j,i}$  ve  $r_{2,j,i}$  ise bunların 0 ve 1 arasında rasgele değerler alan katsayılarıdır.

### 3. OPTİMUM AĞIRLIKTA KONSOL İSTİNAT DUVARININ TASARIMI

Tasarım optimizasyonu, inşaat mühendisliğinde çelik kafes sistemlerinin, temel yapılarının, ulaşım ağlarında trafik sinyalizasyonunun optimum çözüme kavuşturulmasında etkin rol oynamaktadır.

Tasarım optimizasyonlarının çözümü için problemin modellenmesi ve modellemedeki değişkenlerin bilinmesi gerekir. Bu modelleme Sarıbaş ve Erbatur (1996)'un hazırladığı modellemeden uyarlanmış ve tasarım değişkenleri Şekil 1 üzerinde tanımlanmıştır.



**Şekil 1:**

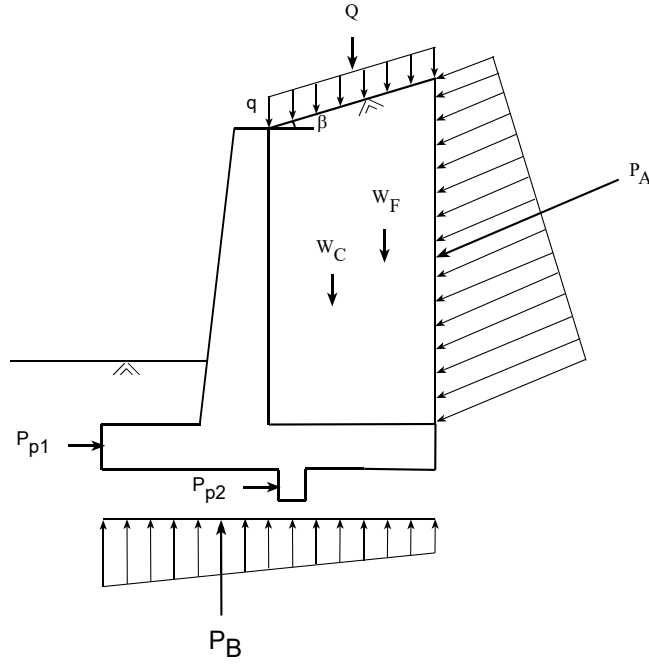
*Betonarme konsol istinat duvarı için tasarım değişkenleri*

Yapısal değişkenlerin (R1, R2, R3, R4) donatı çapı ve sayısının ifade edilmesi için; 3'ten 28'e kadar donatı adeti ve 10'dan 30'a kadar donatı çapı ile 1'den 264'e kadar bir donatı listesi düzenlenmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1. Donatı listesi**

Donatı			
No.(n)	Cubuk	Boyut	As ( $cm^2$ )
1	3	10	2,356
2	4	10	3,141
3	3	12	3,393
4	5	10	3,927
5	4	12	4,524
6	3	14	4,618
7	6	10	4,712
.	.	.	.
.	.	.	.
262	28	24	126,669
263	18	30	127,234
264	24	26	127,423

Şekil 2’de gösterildiği üzere bir konsol istinat duvarına farklı kuvvetler etki etmektedir. Tasarım optimizasyonunda kısıtları belirlemek üzere bu kuvvetlerden faydalanılır. Bu kuvvetler; 1 m uzunluk için betonarme duvarı ağırlığı ( $W_C$ ), duvar arkası dolgu ağırlığı ( $W_F$ ), duvarın üzerindeki statik yük ( $Q$ ), duvar arkasına etkiyen yanıl aktif itki ( $P_A$ ), duvar önüne etkiyen yanıl pasif itki ( $P_{P_1}, P_{P_2}$ ) ve taşıma gücünden doğan kuvvetlerdir ( $P_B$ ).

**Şekil 2:**

*Betonarme konsol istinat duvarına etkiyen kuvvetler*

### 3.1. Geoteknik Modelleme

Stabil halde kalabilecek dayanma yapılarının çeşitli güvenlik değerlerini sağladığı varsayılır. Devrilme, kayma ve taşıma gücü tahkiklerine dayalı bu güvenlik sayıları, istinat duvarı tasarımı optimizasyonunda geoteknik kısıtları oluşturmada kullanılır. Bu kısıtları oluşturmak için; Rankine yanıl basınç teorisinde kullanılan aktif ve pasif zemin basınç katsayıları 2 ve 3 nolu eşitliklerde verilmiştir.

$$K_a = \cos \beta * \left( \cos \beta - \sqrt{(\cos \beta)^2 - (\cos \emptyset)^2} \right) / \left( \cos \beta + \sqrt{(\cos \beta)^2 - (\cos \emptyset)^2} \right) \quad (2)$$

$$K_p = \left[ \tan \left( 45 + \frac{\emptyset}{2} \right) \right]^2 \quad (3)$$

Bu eşitliklerdeki; duvar arkası dolgunun içsel sürtünme açısı  $\emptyset$ , duvar arkası eğim açısı  $\beta$  'dır. Bir güvenlik katsayısına bağlı olarak dönme tahkiki yapmak üzere;

$$F_{S_o} = \frac{\sum M_R}{\sum M_D} \quad (4)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikteki  $F_{S_o}$ , dönmeye karşı güvenlik sayısıdır.  $\sum M_R$ , dönmeye karşı koyan kuvvetlerin burun noktasına göre momentleri toplamını ve  $\sum M_D$  deviren kuvvetlerin burun noktasına göre momentleri toplamını ifade eder.

$F_{S_s}$ , kaymaya karşı güvenlik sayısı kullanılarak kayma tahkiki yapılır.

$$F_{S_s} = \frac{\sum F_R}{\sum F_D} \quad (5)$$

Burada,  $\sum F_R$  kaymaya karşı direnen kuvvetlerin toplamını ifade eder.

$$\sum F_R = \left( \sum N \right) * \tan \left( \frac{2}{3} * \emptyset_{base} \right) + \frac{2}{3} * B * c_{base} + \sum P_P \quad (6)$$

$\sum N$ , duvar ağırlığı, sürşarj yükü, aktif basınç kuvvetinin dikey yönlü bileşenlerinin toplamı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$\sum N = W_c + Q + P_{a1y} + P_{a2y} \quad (7)$$

$\sum F_D$  ise, kaydıran kuvvet olarak aktif basınç kuvvetinin yatay bileşenidir.

$$\sum F_D = P_A \cos \beta \quad (8)$$

6 nolu bağıntıda yer alan  $\sum P_P$ , toplam pasif yatay basınçlar aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

$$P_{p_1} = \frac{1}{2} \gamma_{dolgu} D_1^2 K_{P_1} + 2c D_1^2 \sqrt{K_{P_1}} \quad (9)$$

$$P_{p_2} = \frac{1}{2} \gamma_{base} h_{sk}^2 K_{P_2} + 2c_{base} h_{sk}^2 \sqrt{K_{P_2}} \quad (10)$$

$$\sum P_P = P_{p_1} + P_{p_2} \quad (11)$$

$D_1$ , duvarın önündeki toprak dolgudur. Duvar arkası dolgu birim hacim ağırlığı ve kohezyonu sırasıyla  $\gamma_{dolgu}$  ve  $c$ 'dir.  $K_{P_1}$ , pasif toprak basıncı katsayısı,  $h_{sk}$ , duvar tabanındaki dişin

önündeki toprak yüksekliğidir.  $\gamma_{base}$ , tabandaki toprağın birim hacim ağırlığı,  $K_{p2}$  pasif toprak basıncı katsayısı,  $\phi_{base}$  içsel sürtünme açısı ve  $c_{base}$  kohezyonudur.

Çalışmada konsol istinat duvarının temeli, sıg temel olarak kabul edilip, taşıma gücü tahkiki bu kabule göre yapılır. Nihai taşıma gücünün ( $q_u$ ) sisteme uygulanan maksimum taşıma gücü gerilmesine ( $q_{max}$ ) göre oranı taşıma gücü güvenlik sayısı ile ölçülür;

$$F_{SB} = \frac{q_u}{q_{max}} \quad (12)$$

Nihai taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücü teorisine göre yapılmıştır:

$$q_u = c_{base}N_c + \gamma_{dolgu}D_1N_q + \frac{1}{2}\gamma_{base}N_g(B - 2e) \quad (13)$$

$N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_g$  Terzaghi taşıma gücü katsayıları,  $B$  taban genişliği ( $X1$ ),  $e$  eksantrisite ve  $\gamma_{dolgu}$  arka dolgunun birim hacim ağırlığıdır.

Minimum ve maksimum taşıma gücü:

$$q_{min,max} = \frac{\sum V}{B} \left( 1 \mp \frac{6e}{B} \right) \quad (14)$$

ve eksantrisite:

$$e = \frac{\sum M_R - \sum M_O}{\sum V} \quad (15)$$

olarak ifade edilir. Burada  $M_0$ , istinat duvarı temeline etkiyen tüm kuvvetlerin duvar tabanı ortasına göre momentleri toplamını ifade etmektedir.

### 3.2. Yapısal Modelleme

İstinat duvarlarında başlıca iki tür stabilite analizi yapılmaktadır. Bunlardan ilki, yapının dış etkilere karşı bulunduğu konumu koruyabilme durumunu araştıran dış stabilite analizidir. Dönme, kayma ve temel taşıma gücü yenilmesi tahkikleri istinat duvarları için dış stabilite analizleri kapsamındadır. İstinat duvarının geoteknik modellemesi için dış stabilite analizlerinden faydalanılmıştır. İkincisi, yapının iç kuvvetleri etkisi altındaki gerilmelere karşı bütünlüğünü koruyabilmesi durumunu araştıran iç stabilite analizidir. Yapının belirli kesitlerindeki eğilme ve kesme dayanımı hesapları iç stabilite analizleri kapsamındadır. İstinat duvarının yapısal modellemesi için iç stabilite analizlerinden faydalanılmıştır.

Betonarme konsol istinat duvarı tasarımı optimizasyon problemi için geoteknik kısıtların yanında yapısal kısıtlar oluşturulmuştur. Bu kısıtları oluşturmak için ACI 318-05 (2005) standartlarından faydalanılmış, dayanma duvarının kritik kesitlerindeki eğilme ve kesme dayanımları irdelenmiştir.

Duvarın kritik kesitleri; duvar gövdesi ve temel tabanının birleşiminden  $ds$  kadar uzaklıktaki kesit, dış kısmıyla temel tabanının birleşimden  $dsh$  kadar uzaklıktaki kesit, duvar temelinde; burun kısmının arka yüzünden  $dt$  kadar uzaklıktaki kesit, topuk kısmının ön yüzünden  $dh$  kadar uzaklıktaki kesit olarak belirlenmiştir. Burada;  $ds$  ( $=X4 - cc$ ),  $dsh$  ( $=X7 - cc$ ),  $dt$  ( $=X5 - cc$ ) ve  $dh$  ( $=X5 - cc$ ) duvarda betonarme kesitlerin kalınlığı ve beton örtüsü kalınlığının ( $cc$ ) farkını ifade eden uzunluk değerleridir.

Gövde, burun ve topuk kesitlerinde standarda bağlı eşitliklere göre belirlenen (nominal) eğilme ( $M_n$ ), kesme dayanımı ( $V_n$ ) ve tasarım probleminde uygulanan kuvvetlere göre hesaplanan tasarım eğilme ( $M_d$ ) ve kesme dayanımlarıyla ( $V_d$ ) karşılaştırılmalıdır. İlgili

kesitlerde eğilme ve kesme dayanımları, tasarım eğilme ve kesme dayanımlarından büyük olmalıdır.

Güvenli bir tasarım için nominal eğilme ve kesme dayanımları bir azaltma katsayısı  $\Phi$  ile çarpılarak kullanılır.

ACI-318 05 (2005) standardına göre bu katsayı eğilme dayanımı için 0,9, kesme dayanımı için 0,75 olarak alınır.

$$\Phi M_n \geq M_d \quad (16)$$

$$\Phi V_n \geq V_d \quad (17)$$

Nominal eğilme dayanımı ACI 318 05 (2005) standartlarında 10. bölümde şu şekilde açıklanmıştır:

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (18)$$

Burada,  $d$  ifadesi gerilme bloğunun efektif derinliği olarak ifade edilmiştir. Bir diğer ifade  $a$ , eş değer dikdörtgen gerilme bloğunun derinliğidir.

$$a = \beta_1 c \quad (19)$$

İfadede yer alan;  $c$ , uç basınç çubuğunun tarafsız eksene uzaklığı ve  $\beta_1$ , betonun basınç dayanımına ( $f_c$ ) göre bir katsayıdır.

$T$  ise düğüm bölgesindeki çekme gerilmesi olmakla birlikte, basınç gerilmesine ( $C$ ) eşit kabul edilir.

$C = T$  eşitliği ile,

$$T = A_s f_y \quad (20)$$

ve

$$C = 0,85. f_c b a \quad (21)$$

eşitlikleri kullanılarak;

$$A_s f_y = 0,85. f_c b a \quad (22)$$

olduğundan,

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85. f_c b} \quad (23)$$

eşitliğine ulaşılır. Eşitlik (20), (21) ve (22)'de yer alan  $b$  ifadesi gerilme bloğunun genişliğidir.  $A_s$  ifadesi donatı kesit alanını belirtir.  $f_y$  ifadesi ise çeliğin akma dayanımını simgeler.

Nominal kesme dayanımı için:

$$V_n = \Phi 0,17 \sqrt{f_c} b d \quad (24)$$

eşitliği yazılır.



Dayanma duvarı elemanları: gövde, burun, topuk ve diş için tasarım eğilme ve kesme dayanımı hesapları yapılmalıdır. ACI 318-05 (2005) standardına göre dikey bir kiriş görevi üstlenen gövde için eğilme ve kesme dayanımları, toprak basınçları ve sürşarj yükü belirtilen katsayılarla çarpılarak dikkate alınır. Bu katsayılar aşağıda gösterilmiştir.

$$U = 1,4D + 1,7L + 1,7H \quad (25)$$

Burada; D sabit yük, L hareketli yük ve H toprak basıncını ifade eder. Sabit ve hareketli yükün, toprak basıncının etkisini azalttığı durumlarda eşitlik;

$$U = 0,9D + 1,7H \quad (26)$$

şeklını alır.

Gövde için tasarım eğilme dayanımı ( $M_{dgövde}$ ),

$$M_{dgövde} = 1,7 \left[ qK_a \cos \beta \frac{(H_s + H)^2}{2} + K_a \gamma_{dolgu} \cos \beta \frac{(H_s + H)^3}{6} \right] \quad (27)$$

Kesme dayanımı ( $V_{dburun}$ ):

$$V_{dgövde} = 1,7 \left[ qK_a \cos \beta (H_s + H - ds) + K_a \gamma_{dolgu} \cos \beta \frac{(H_s + H - ds)^2}{2} \right] \quad (28)$$

şeklinde ifade edilir. İfadede yer alan  $H_s$  uzunluğu şu şekilde hesaplanır:

$$H_s = (L_h) \tan \beta \quad (29)$$

Burada;  $L_h$  topuk kısmının genişliğidir.

Burun kısmında tasarım eğilme ( $M_{dburun}$ ) ve kesme dayanımlarına ( $V_{dburun}$ ) aşağıda verilmiş bağıntılarla ulaşılmıştır.

$$M_{dburun} = \left[ 1,7 \left( \frac{q_2}{6} + \frac{q_{max}}{3} \right) - 0,9(\gamma_c X_5 + \gamma_{dolgu} D_b) \right] l_{burun}^2 \quad (30)$$

$$V_{dburun} = \left[ 1,7 \left( \frac{q_{dt} + q_{max}}{2} \right) - 0,9(\gamma_c X_5 + \gamma_{dolgu} D_b) \right] (l_{burun} - dt) \quad (31)$$

Burada;  $D_b$ , burun kısmının üzerindeki zeminin derinliği,  $l_{burun}$  burun kısmının genişliğidir.  $q_2$ , gövde ve burun kısmının kesişim bölgesindeki basınç olup,  $q_{min}$  ve  $q_{max}$  değerlerine göre hesaplanır.  $q_{dt}$  ise burun kısmındaki kritik kesite gelen basınçtır.

Topuk için eğilme dayanımı ( $M_{dtopuk}$ ) ve kesme dayanımı ( $V_{dtopuk}$ ) hesabı aşağıda verilen bağıntılarla yapılmaktadır.

$$M_{dtopuk} = \left[ \left( \frac{1,7q + 1,4\gamma_c X_5 + 1,4\gamma_{dolgu} H}{2} \right) + \left( \frac{1,4W_{bs}}{3} \right) - \left( \frac{q_1 + 2q_{min}}{6} \right) \right] L_h^2 \quad (32)$$

$$V_{d_{topuk}} = \left[ (1,7q + 1,4\gamma_c X5 + 1,4\gamma_{dolgu} H) + 1,4 \left( \frac{W_{bs} + W_{bsd h}}{2} \right) - 0,9 \left( \frac{q_{dh} + q_{min}}{2} \right) \right] (L_h - dh) \quad (33)$$

Burada;  $L_h$  topuk kısmının genişliği,  $q_{dh}$  topuk bölgesinde kritik kesitteki basınç ve  $W_{bsd h}$  topuk kısmının üzerinde kalan toprak kütesidir.

Bir diğer konsol istinat duvarı elemanı kayma sürecinde etkisi görülen dış kısmıdır. Bu kısım için de benzer şekilde eğilme kapasitesi dayanımı ( $M_{d_{diş}}$ ) ve kesme kapasitesi dayanımı ( $V_{d_{diş}}$ ) hesabı yapılmalıdır.

$$M_{d_{diş}} = \left[ \left( \frac{K_{p2} \gamma_{base} (X8)^3}{3} \right) \right] \quad (34)$$

$$V_{d_{diş}} = \left[ \left( \frac{K_{p2} \gamma_{base} dsh + K_{p2} \gamma_{base} X8}{2} \right) \max([ (X8 - dsh) \quad 0]) \right] \quad (35)$$

ACI 318-05 (2005) standardına göre eğilme donatısının kesit alanı,  $A_s$ , Eşitlik (33)'te verilen değerden ve  $(1,4/f_y bd)$  değerinden düşük olamaz.

$$A_{s_{min}} = 0,25 \frac{\sqrt{f_c}}{f_y} bd \quad (36)$$

Minimum donatı oranı ( $\rho_{min}$ )  $A_s/bd$  formülasyonu ile bulunabilirken, maksimum donatı oranı eğilme donatısında dengeli gerilme üreten  $\rho_b$  kadardır:

$$\rho_b = \left( \frac{0,85\beta_1 f_c}{f_y} \right) \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (37)$$

Bir betonarme yapının iç stabilizasyonunu etkileyen bir diğer faktör de kenetlenme boyudur ( $l_d$ ). ACI 318-05 (2005) standartlarına göre  $d_b \leq 19 \text{ mm}$  için yeterli kenetlenme boyu:

$$l_d = \left( \frac{12f_y \psi_t \psi_e \lambda}{25\sqrt{f_c}} \right) d_b \quad (38)$$

olarak ifade edilirken,  $d_b > 19 \text{ mm}$  için ise:

$$l_d = \left( \frac{12f_y \psi_t \psi_e \lambda}{20\sqrt{f_c}} \right) d_b \quad (39)$$

olarak hesaplanabilir. Buna ek olarak kenetlenme boyu 300 mm'den kısa olmamalıdır. Bu çalışmada;  $\psi_t, \psi_e, \lambda$  düzeltme faktörleri 1 olarak alınmıştır.

Düz kenetlenme boyunun elverişli olmadığı durumda kancalı donatı kullanılır. Kancalı kenetlenme boyu ( $l_{dh}$ ) ise  $8d_b$ 'den ve 150 mm'den küçük olmayıp, aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$l_{dh} = \left( \frac{0,24f_y}{\sqrt{f_c}} \right) d_b \quad (40)$$

### 3.3. Amaç Fonksiyonu

Maksimize ya da minimize edilmek istenen optimizasyon probleminin performansını değerlendiren fonksiyondur. Bu çalışmada zemin durumu, kapladığı hacim, gerekli malzeme ve iş gücü, karbondioksit emisyonu, maliyet gibi birçok parametreyi doğrudan etkileyen yapı ağırlığı amaç fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. Çalışmada amaç fonksiyonu aşağıdaki bağıntıdaki gibi ifade edilir.

$$f_{obj} = W_{st} + 100V_c\gamma_c \quad (41)$$

İfadede;  $W_{st}$  yapı inşaatında kullanılan çelik donatı ağırlığını,  $W_c$  yapıdaki beton ağırlığını,  $V_c$  yapının beton hacmini,  $\gamma_c$  betonun birim hacim ağırlığını belirtir. Beton ağırlığı hesabında ağırlığı kN biriminden kg birimine dönüştürmek için 100 ile çarpmak gerekir.

### 3.4. Kısıtlar

Kısıtlar, bir optimizasyon probleminin çözümünde arama alanını istenen özelliklerle sınırlamak üzere kullanılırlar. Bu çalışmada; yapının geoteknik ve yapısal stabilitesini koruması için seçilen sınırlar bir önceki bölümde verilmiş formülasyonlar yardımıyla hazırlanmıştır. Bunun yanında standartlara bağlı kalınarak yapı elemanlarının boyları ve donatı durumları ile ilgili kısıtlar da kullanılmıştır. Optimizasyon işleminde amaç fonksiyonu bulurken ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır.

#### 3.4.1. Geoteknik Kısıtlar

Bu çalışmada, istinat duvarı tasarımı optimizasyonunda devrilme ( $F_{S_o}$ ), kayma ( $F_{S_s}$ ) ve temel taşıma gücü ( $F_{S_B}$ ) için güvenlik faktörleri, bir önceki bölümde hesaplanan tasarım güvenlik faktörleri ile sınırlanmıştır. Çalışmada üç adet geoteknik kısıt kullanılmıştır.

$$g(1) = \frac{F_{S_o \text{ design}}}{F_{S_o}} - 1 \leq 0 \quad (42)$$

$$g(2) = \frac{F_{S_s \text{ design}}}{F_{S_s}} - 1 \leq 0 \quad (43)$$

$$g(3) = \frac{F_{S_B \text{ design}}}{F_{S_B}} - 1 \leq 0 \quad (44)$$

#### 3.4.2. Yapısal Kısıtlar

Duvarın kritik kesitleri eğilme ve kesme dayanımlarına göre incelenmektedir. Duvar elemanlarının daha önce de bahsedildiği gibi tasarım eğilme ve kayma dayanımları nominal eğilme ve kesme dayanımları ile sınırlandırılarak 8 yapısal kısıt belirlenmiştir. Kritik kesitlerde yine standartlara bağlı olarak donatı hesaplarında 12 yapısal kısıt vardır. Bunun yanında 2 adet boyutsal kısıt ve 1 adette minimum taşıma gücü kısıtı kullanılmıştır.

Duvar elemanlarının eğilme ve kesme dayanımları için kısıtları aşağıdaki bağıntılarda belirtilmiştir.

$$g(5 - 8) = \frac{M_d}{M_n} - 1 \leq 0 \quad (4)$$

$$g(9 - 12) = \frac{V_d}{V_n} - 1 \leq 0 \quad (46)$$

Minimum ve maksimum donatı oranı kısıtları olarak ise aşağıdaki bağıntılar belirlenmiştir.

$$g(13 - 16) = \frac{A_{smin}}{A_s} - 1 \leq 0 \quad (47)$$

$$g(17 - 20) = \frac{A_s}{A_{smax}} - 1 \leq 0 \quad (48)$$

Burada;  $g(5)$ ,  $g(9)$ ,  $g(13)$ ,  $g(17)$  gövde için,  $g(6)$ ,  $g(10)$ ,  $g(14)$ ,  $g(18)$  burun için,  $g(7)$ ,  $g(11)$ ,  $g(15)$ ,  $g(19)$  topuk için ve  $g(8)$ ,  $g(12)$ ,  $g(16)$ ,  $g(20)$  diş için seçilmiş kısıtlardır.

Kenetlenme boyu için kısıtlar düz ya da kancalı olmasına bağlı kısıtlardır. Bu kısıtlar aşağıdaki bağıntılarda verilmiştir.

$$g(23) = \frac{l_{dbgövde}}{X5-cc} - 1 \leq 0 \text{ ya da } g(23) = \frac{l_{dhgövde}}{X5-cc} - 1 \leq 0 \quad (49)$$

$$g(24) = \frac{l_{dbburun}}{X1-X2-cc} - 1 \leq 0 \text{ ya da } g(24) = \frac{l_{dhuburun}}{X5-cc} - 1 \leq 0 \quad (50)$$

$$g(25) = \frac{l_{dbtopuk}}{X2+X3-cc} - 1 \leq 0 \text{ ya da } g(25) = \frac{l_{dhtopuk}}{X5-cc} - 1 \leq 0 \quad (51)$$

$$g(26) = \frac{l_{dbdiş}}{X5-cc} - 1 \leq 0 \text{ ya da } g(23) = \frac{l_{dhdiş}}{X5-cc} - 1 \leq 0 \quad (52)$$

Duvar geometrisinin sınırlandırılması adına gereken kısıtlar olarak aşağıdaki bağıntılar belirtilmiştir.

$$g(21) = \frac{X2 + X3}{X1} - 1 \leq 0 \quad (53)$$

$$g(22) = \frac{X6 + X7}{X1} - 1 \leq 0 \quad (54)$$

Temel tabanının minimum taşıma gücü sıfırdan küçük olamaz.

$$g(4) = q_{min} \geq 0 \quad (55)$$

#### 4. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu çalışmada belirtilen iki örnekte sabit parametreler girdi olarak kullanılarak, değişkenler üzerinden amaç fonksiyonuna ulaşmak hedeflenmiştir. Meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları, yerel optimumlara takılmadan küresel optimuma ulaşmayı hedefleyen arama algoritmalarıdır. Ancak rassal değerlerle hareket ettiklerinden global optimumu garantileyemezler. Bu sebeple global optimuma erişmek adına iterasyonlar defalarca kez uygulanır. Bu çalışmada Rao\_1 algoritması dikkate alınarak MATLAB programı 30 kez çalıştırılarak, en iyi ve ortalama değerler kaydedilmiştir. Popülasyon büyüklüğü ve iterasyon sayısı sırasıyla 50 ve 1000'dir. Program, Intel (R) Core (TM) i3-3227U CPU 1,90 GHz işlemciye sahip bilgisayar üzerinde çalıştırılmıştır.

#### 4.1. Örnek 1

İlk örnekte taban plağı dışsuz bir betonarme konsol istinat duvarı üzerinde çalışılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak yapının ağırlığı seçilmiştir. Duvarın boyu, dolgu ve taban malzemesinin özellikleri, güvenlik faktörleri, duvarın malzeme özellikleri gibi tüm örneklerde aynı olan parametreler Tablo 2’de birinci örnek için gösterilmiştir.

Bu örnekte 5 sürekli geometrik ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ ) ve 3 kesikli donatısal ( $R_1, R_2, R_3$ ) değişken seçilmiştir. Birinci örnek için bu değişkenlerin alt ve üst sınırları Tablo 3’de gösterilmektedir.

Önerilen metodun en iyi sonuçları tasarım değişkenleri cinsinden Tablo 4’te özetlenmiştir. Tablo 4’te donatısal değişkenler, Tablo 1’deki donatı indeks numaraları ile birlikte verilmiştir. Bu örnek daha önce Lopez (2017) tarafından sunulan Arama Grubu Algoritması (SGA) ve Geriye dönük Arama Algoritması (BSA), Camp ve Akin (2012) tarafından sunulan Büyük Patlama Büyük Çatırtı Algoritması (BB-BC), Gandomi ve diğ. (2017b) tarafından sunulan Genetik Algoritma (GA), Diferansiyel Gelişim (DE), Evrimsel Strateji (ES), Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BBO) algoritmaları, Gandomi ve diğ. (2015) tarafından sunulan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Hızlandırılmış Parçacık Sürü Optimizasyonu (APSO), Ateşböceği algoritması (FA), Ağaçkakan Arama algoritması (CS) ve Gandomi ve diğ. (2017a) tarafından sunulan Dahili Arama algoritması (ISA) kullanılarak optimize edilmiştir.

Tablo 5’te bu örnek için Rao\_1 algoritmasının optimum ağırlıklı istinat duvarı tasarımları için amaç fonksiyonlarının en iyi ve ortalama değerleri verilmiştir. Programın Tablo 5’te gösterilen sonuca ulaşma süresi 137,996807 saniyedir.

**Tablo 2. Örnek 1 için parametreler**

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Duvar yüksekliği	H	3	m
Çelik donatı akma dayanımı	$f_y$	400	MPa
Beton basınç dayanımı	$f_c$	21	MPa
Beton örtü kalınlığı	cc	7	cm
Büzülme ve sıcaklık donatı yüzdesi	$\rho_{st}$	0,002	-
Sürşarj yükü	Q	20	kPa
Arka dolgu eğimi	B	10	°
Taban zemindeki içsel sürtünme açısı	$\varphi_{base}$	0	°
Dolgunun içsel sürtünme açısı	$\varphi$	36	°
Dolgunun birim hacim ağırlığı	$\gamma_{fill}$	17,5	kN/m <sup>3</sup>
Taban zemindeki birim hacim ağırlığı	$\gamma_{base}$	18,5	kN/m <sup>3</sup>
Çeliğin birim hacim ağırlığı	$G_s$	78,5	kN/m <sup>3</sup>
Betonun birim hacim ağırlığı	$\gamma_c$	23,5	kN/m <sup>3</sup>
Duvarın önündeki Zemin derinliği	D	0,5	m
Dönmeye karşı güvenlik katsayısı	$F_{S_{O_{desian}}}$	1,5	-
Kaymaya karşı güvenlik katsayısı	$F_{S_{S_{desian}}}$	1,5	-
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$F_{S_{B_{desian}}}$	1,5	-
Temel zemindeki kohezyon	$c_{base}$	125	kPa

**Tablo 3. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları (Örnek 1)**

Tasarım değişkeni	Birim	Alt sınır	Üst sınır
X1	<i>m</i>	1,3090	2,3333
X2	<i>m</i>	0,4363	0,7777
X3	<i>m</i>	0,2000	0,3333
X4	<i>m</i>	0,2000	0,3333
X5	<i>m</i>	0,2722	0,3333
R1	-	1	264
R2	-	1	264
R3	-	1	264

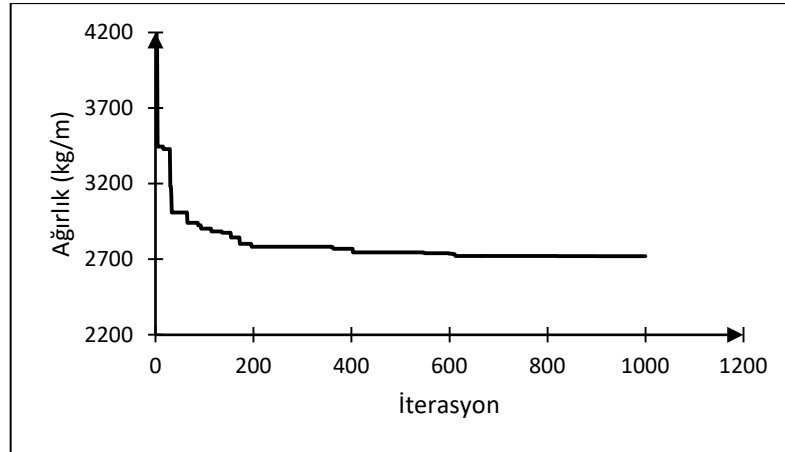
**Tablo 4. Optimizasyon sonucu tasarım değişkenleri (Örnek 1)**

Yöntem	X1	X2	X3	X4	X5	R1	R2	R3
Rao_1	1,79	0,63	0,21	0,20	0,28	82 28Φ10mm	17 10Φ10 mm	17 10Φ10 mm

**Tablo 5. Amaç fonksiyonlarının en iyi ve ortalama değerleri (Örnek 1)**

Yöntem	Çelik ( <i>kg/m</i> )	Beton ( <i>m<sup>3</sup>/m</i> )	Amaç Fonksiyonu ( <i>kg/m</i> )	
			En İyi	Ortalama
Rao_1	90,5948	1,1187	2719,6	2729,9

Şekil 3'te Örnek 1 için verilen yakınsama grafiğinde, istinat duvarının 1000 iterasyon boyunca ağırlığının değişimi gösterilmiştir.



**Şekil 3:**  
Örnek 1 için yakınsama grafiği

#### 4.2. Örnek 2

Bu örnekte istinat duvarının kaymaya karşı direncini artıran dış göz önünde bulundurularak taban plağı dişli betonarme istinat duvarı üzerinde çalışılmıştır. Diğer örnekten farklı olarak tabanda, kohezyonsuz zemin kullanılmıştır. İstinat duvarının özelliklerini belirtilen parametreler ikinci örnek için Tablo 6'da özetlenmiştir.

Değişken sayısı geometrik değişkenler için 8'e (X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8), donatısal değişkenler için 4'e (R1, R2, R3, R4) yükselmiştir. İkinci örnekteki bu değişkenler için alt ve üst sınırlar Tablo 7'de gösterilmiştir.

Önerilen metodun ikinci örnek için en iyi sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 8'de donatısal değişkenler, Tablo 1'deki donatı indeks numaraları ile birlikte verilmiştir. Bu örnek daha önce, Lopez (2017) tarafından sunulan Arama Grubu Algoritması (SGA) ve Geriye dönük Arama Algoritması (BSA), Camp ve Akin (2012) tarafından sunulan Büyük Patlama Büyük Çatırtı Algoritması (BB-BC) kullanılarak optimize edilmiştir.

Tablo 9'da ikinci örnek için önerilen algoritmanın optimum ağırlıklı istinat duvarı tasarımları için amaç fonksiyonlarının en iyi ve ortalama değerleri verilmiştir. Önerilen metod ile amaç fonksiyonu olarak seçilmiş istinat duvarı ağırlığı 7490,8 kg/m olarak hesaplanmıştır. Programın Tablo 9'da gösterilen sonuca ulaşma süresi 179,229650 saniyedir.

**Tablo 6. Örnek 2 için parametreler**

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Duvar yüksekliği	H	4,5	<i>m</i>
Çelik donatı akma dayanımı	$f_y$	400	<i>MPa</i>
Beton basınç dayanımı	$f_c$	21	<i>MPa</i>
Beton örtü kalınlığı	<i>cc</i>	7	<i>cm</i>
Büzülme ve sıcaklık donatı yüzdesi	$\rho_{st}$	0,002	-
Sürşarj yükü	Q	30	<i>kPa</i>
Arka dolgu eğimi	B	0	°
Taban zemindeki içsel sürtünme açısı	$\varphi_{base}$	28	°
Dolgunun içsel sürtünme açısı	$\varphi$	34	°
Dolgunun birim hacim ağırlığı	$\gamma_{fill}$	17,5	<i>kN/m<sup>3</sup></i>
Taban zemindeki birim hacim ağırlığı	$\gamma_{base}$	17	<i>kN/m<sup>3</sup></i>
Çeliğin birim hacim ağırlığı	$G_s$	78,5	<i>kN/m<sup>3</sup></i>
Betonun birim hacim ağırlığı	$\gamma_c$	23,5	<i>kN/m<sup>3</sup></i>
Duvarın önündeki Zemin derinliği	D	0,3	<i>m</i>
Dönmeye karşı güvenlik katsayısı	$F_{S_{O_{desian}}}$	1,5	-
Kaymaya karşı güvenlik katsayısı	$F_{S_{S_{desian}}}$	1,5	-
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$F_{S_{B_{desian}}}$	1,5	-
Temel zemindeki kohezyon	$c_{base}$	0	<i>kPa</i>

**Tablo 7. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları (Örnek 2)**

Tasarım değişkeni	Birim	Alt sınır	Üst sınır
X1	<i>m</i>	1,96	5,5
X2	<i>m</i>	0,65	1,16
X3	<i>m</i>	0,25	0,5
X4	<i>m</i>	0,25	0,5
X5	<i>m</i>	0,4	0,5
X6	<i>m</i>	1,96	5,5
X7	<i>m</i>	0,20	0,5

X8	<i>m</i>	0,20	0,5
R1	-	1	264
R2	-	1	264
R3	-	1	264
R4	-	1	264

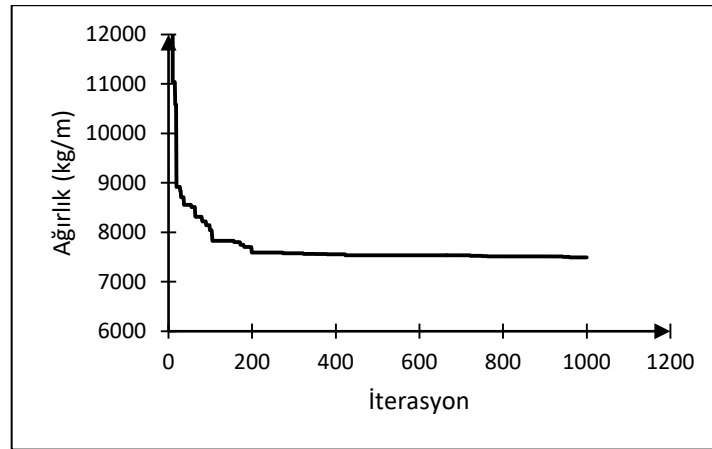
**Tablo 8. Optimizasyon sonucu tasarım değişkenleri (Örnek 2)**

Yöntem	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	R1	R2	R3	R4
Rao_1	3.20	0,66	0,39	0,25	0,48	2,9	0,20	0,50	134 24Φ14mm	59 22Φ10mm	90 21Φ12mm	9 5Φ12mm

**Tablo 9. Optimizasyon sonucu amaç fonksiyonlarının en iyi ve ortalama değerleri (Örnek2)**

Yöntem	Çelik ( <i>kg/m</i> )	Beton ( <i>m<sup>3</sup>/m</i> )	Amaç Fonksiyonu ( <i>kg/m</i> )	
			En İyi	Ortalama
Rao_1	262,0157	3,0761	7490,8	7517,6

Şekil 4'te gösterilen yakınsama grafiğinde, ikinci örnekteki istinat duvarının 1000 iterasyon boyunca ağırlığının değişimi gösterilmiştir. Şekil 4'den de görüleceği üzere optimum değer 1000. iterasyona çok yakın bir değerde kaydedilmiştir.



**Şekil 4:**  
Örnek 2 için yakınsama grafiği

## 5. SONUÇLAR

Taban plağı dişli ve dişsiz iki çeşit betonarme konsol istinat duvarı tasarımı optimizasyonu için MATLAB bilgisayar programında yazılan Rao\_1 optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Yapı ağırlığı optimizasyon problemi için amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi yapının şeklinin verdiği avantajla diğerlerine nazaran daha az materyalle benzer yanal desteği sağlayabilmesi konsol istinat duvarlarının yaygın olarak kullanılmasındaki en etkili sebeplerdendir. Bu sebeple istinat duvarının ağırlığını hafifletmek; duvarın kullanım alanını genişletmeyi, yapım maliyetini düşürmeyi ve doğaya karbondioksit salınımını azaltmayı



sağlayacaktır. Önerilen metot, herhangi bir metaforla özdeşleştirilmeksizin oldukça sade ve anlaşılır olduğundan problem oldukça kolay bir şekilde algoritmaya adapte edilebilir. Optimum ağırlıkta istinat duvarı tasarımı amaçlayan bu çalışmada kullanılan algoritmanın etkenliğini ölçmek üzere çalışma iki sayısal örnekle desteklenmiştir. Sayısal örnekler göstermektedir ki, Rao\_1 algoritması betonarme konsol istinat duvarı tasarımı optimizasyonunda etkin bir şekilde kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. ACI 318-05, (2015). Building code requirements for structural concrete and commentary, American Concrete Institute, Detroit
2. Aydogdu, İ. (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. DOI: [10.1080/0305215X.2016.1191837](https://doi.org/10.1080/0305215X.2016.1191837)
3. Gandomi, A.H., Kashani, A.R., Mousavi, M. ve Roke, D.A. (2015) Optimization of Retaining Wall Design using Recent Swarm Intelligence Techniques, *Engineering Structures*, 103, 72-84. DOI: [10.1016/j.engstruct.2015.08.034](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.08.034)
4. Gandomi, A.H., Kashani, A.R. ve Zeighami, F. (2017a) Retaining wall optimization using interior search algorithm with different bound constraint handling, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 41, 1304-1331. DOI: [10.1002/nag.2678](https://doi.org/10.1002/nag.2678)
5. Gandomi A.H., Kashani A.R., Roke D.A. ve Mousavi M. (2017b), Optimization of retaining wall design using evolutionary algorithms, *Structural Multidisciplinary Optimization*, 55(3), 809. DOI: [10.1007/s00158-016-1521-3](https://doi.org/10.1007/s00158-016-1521-3)
6. Holland, J.H. (1992) *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*, MIT Press Cambridge, MA, USA, 2nd Edition, ISSN:9780262082136.
7. Kaveh, A. ve Soleimani, N. (2015) CBO and DPSO for optimum design of reinforced concrete cantilever retaining walls, *Asian Journal of Civil Engineering*, 16(6), 751-774.
8. Kaveh, A. ve Laien J.D. (2017) Optimal design of reinforced concrete cantilever retaining walls using CBO, ECBO and VPS algorithms, *Asian Journal of Civil Engineering*, 18(4), 657-671.
9. Kayabekir, A.E., Bekdaş, G., Niğdeli, S.M., ve Temür, R., (2017) Statik ve Dinamik Yükler Altında İstinat Duvarlarının Optimum Tasarımı, *Engineering Sciences (NWSAENS)*, 12(1), 46-56. DOI: [10.12739/NWSA.2017.12.1.1A0372](https://doi.org/10.12739/NWSA.2017.12.1.1A0372)
10. Kayhan, A.H. ve Demir, A. (2018) Optimum design of RC cantilever retaining walls subjected to static and dynamic loadings by differential evolution algorithm, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 24(3), 403-412. DOI: [10.5505/pajes.2017.04834](https://doi.org/10.5505/pajes.2017.04834)
11. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. ve Vecchi, M.P. (1983) Optimization by simulated annealing, *Science*, 220(4598), 671-80. DOI: [10.1126/science.220.4598.671](https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671)
12. Lopez, R.H. (2017) Optimum project of cantilever retaining wall using Search Group Algorithm and Backtracking Search Algorithm, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo Diseño en Ingeniería*.
13. Mahmood, U.A. ve Alam, B. (2015) Design optimization of cantilever retaining wall using direct optimal design simulation, *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering*, 4(4), 243-246. ISSN: 2319-5347.

14. McCulloch, W.S. ve Pitts, W. (1943) Bulletin of Mathematical Biophysics 5: 115. DOI: 10.1007/BF02478259
15. Mohammad, F.A. ve Ahmed, H.G. (2018) Optimum Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls According Eurocode 2, *Athens Journal of Technology and Engineering*, 5(3), 277-296. DOI:10.30958/ajte.5-3-4
16. Molina-Moreno, F., Garcıa-Segura, T., Martı, J.V. ve Yepes, V. (2017) Optimization of buttressed earth-retaining walls using hybrid harmony search algorithms, *Engineering Structures*, 134, 205–216. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.12.042
17. Monghasemi, S., Nikoo, M.R., Fasaee, M.A.K. ve Adamowski, J. (2015) A novel multi criteria decision making model for optimizing time–cost–quality trade-off problems in construction projects, *Expert Systems with Applications*, 42, 3089-3104. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.11.032
18. Osman, I. H. (1995). *An introduction to metaheuristics*, Operational Research Tutorial Papers, Publication of Operational Research Society Press, pp:92-122, Eds: M. Lawrence & C. Wilsden, University of Kent, Canterbury.
19. Öztürk, H.T. ve Türkeli, E. (2019) Tabanında Anahtar Kesiti Bulunan Betonarme İstinat Duvarlarının Jaya Algoritmasıyla Optimum Tasarımı, *Politeknik Dergisi*, 22(2), 283-291. DOI: 10.2339/politeknik.432031
20. Rao, R. (2020) Rao algorithms: Three metaphor-less simple algorithms for solving optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11(1), 107-130 DOI: 10.52677/j.ijiec.2019.6.002
21. Russell, S. J., Norvig, P., ve Davis, E. (2010) *Artificial intelligence: a modern approach*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. (3rd edition) DOI: [10.1016/j.artint.2011.01.005](https://doi.org/10.1016/j.artint.2011.01.005)
22. Saribaş, A. ve Erbatur, F. (1996) Optimization and sensitivity of retaining structures, *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(8), 649–656. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1996)122:8(649)
23. Singla, S ve Gupta, S. (2015) Optimization of Reinforced Concrete Retaining Walls of Varying Heights using Relieving Platforms, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(06), 1071-1077. DOI: 10.17577/IJERTV4IS060935
24. Sörensen, K. (2013) Metaheuristics -- the metaphor exposed, *International Transactions of Operational Research*. 22(1) 3–18. DOI: 10.1111/itor.12001
25. Tonne, V.R. ve Mohite, P.M (2015) Optimization and improvement in stability of counterfront retaining wall with relief shelf, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(4), 447–451. DOI: 10.15623/ijret.2015.0404079
26. Yang, Y., Wu, J., Sun, X., Wu, J. ve Zheng C. (2013) A niched Pareto tabusearch for multi-objective optimal design of groundwater remediation systems, *Journal of Hydrology*, 490: 56–73. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.03.022