



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Minimum Maliyet ve Ağırlıkla Optimum Tasarımı

Hasan Tahsin ÖZTÜRK<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: htozturk@ktu.edu.tr

### ÖZET

Diğer betonarme yapılarda olduğu gibi istinat duvarlarının da geleneksel tasarım süreci, deneme yanılma yöntemini temel almaktadır. Geleneksel tasarımda yönetmelik kriterleri sağlanmaya çalışılmakta, ancak yapının minimum ağırlık ya da minimum maliyetle tasarımı için, mühendislik önsezisi dışında özel bir çaba gösterilememektedir. Bu çalışmada, bir istinat duvarının optimum tasarımı minimum ağırlık veya minimum maliyet için tek amaç fonksiyonlu ve her ikisi birlikte dikkate alınarak çok amaç fonksiyonlu olarak Jaya algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir. Optimum tasarım sonucunda, duvar boyutları ve kesitlerde kullanılacak asal donatılar detaylı olarak belirlenebilmektedir. Çalışmada, ayrıca Jaya algoritmasının bu problem üzerindeki başarımı da incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İstinat duvarı, Maliyet, Ağırlık, Optimizasyon

## Optimum Design Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls with Minimum Cost and Weight

### ABSTRACT

As in other reinforced concrete structures, the traditional design process of retaining walls is based on the trial and error method. Regulation criteria are tried to be provided in the traditional design, but no special effort can be made except engineering hunch for minimum weight or cost of the structure. In this study, the optimum design of a retaining wall was performed by jaya algorithm as single objective function for minimum weight or cost and as a multi-objective function taking both together. As a result of the optimum design, the wall dimensions and the reinforcement to be used in the critical sections can be determined in details. The study also examines the performance of the algorithm on this cited problem.

**Keywords:** Retaining wall, Cost, Weight, Optimization

## I. GİRİŞ

**B**etonarme istinat duvarlarının, ülkemizde ve dünyadaki özellikle engebeli bölgelerde sıklıkla kullanılan bayındırlık yapılarından biri olduğu bilinmektedir. Kesitlerinin, ağırlık istinat duvarlarına göre daha küçük olması, kazı maliyetinin düşmesini sağlamakta ve eğilme momenti kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle, yatay yüklere daha iyi karşı koyabilmektedirler. Yapısal olarak bu tür duvarlar, gövde ve bir temel plağından oluşmaktadır. Temel plağı ise topuk ve burun kesiti olarak ikiye ayrılabilir.

Bilgisayar yazılım ve donanımlarındaki gelişmeler, bu tür bayındırlık yapılarının, ayrık mühendislik optimizasyon problemi olarak herhangi bir sezgisel algoritmayla çözülmesini ve ayrıntılı tasarımlarını mümkün kılmaktadır. Son yıllarda, betonarme istinat duvarlarının tasarımı konusunda birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Teknik literatürde, istinat duvarlarının optimum tasarımlarının farklı algoritmalarla gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu algoritmalarından bazıları; doğrusal olmayan programlama [1], yüklü sistem arama algoritması [2], benzeşimli tavlama algoritması [3,4], hedef güvenilirlik yaklaşımı [5], çoklu başlangıç değişkenli komşuluk arama eşiği stratejisi [6], harmoni arama [7], büyük patlama büyük çöküş [8], parçacık sürü [9,10], değiştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu, ateş böceği [11], ışın optimizasyon yöntemi [12], Levy uçuşları ile biyocoğrafya tabanlı optimizasyon [13], guguk kuşu [11] ve ateş böceği [14] gibi algoritmalarlardır.

## II. OPTİMİZASYON PROBLEMİ

### *A. JAYA ALGORİTMASI*

Sezgisel bir algoritma olan ve hint dilinde “zafer” anlamına gelen bu algoritma, 2016 yılında Rao [15] tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma, oluşturulan ve her iterasyonda yenilenen aday çözümler arasından en iyilerine yaklaşmaya ve en kötülerinden uzaklaşmaya çalışarak, belirlenen bir amaç fonksiyonunun en küçükleme ya da en büyükleme yapabilmektedir. Algoritmaya ilişkin sözde kod aşağıda verilmektedir.

- 1: Optimizasyon problemini tanımla, nesil boyutunu ve en büyük iterasyon sayısını gir,
- 2: En iyi ve en kötü bireyleri belirle,
- 3: Nesildeki diğer bireyleri, en kötü ve en iyi birey dikkate alınarak yenile (Denklemler(1)),
- 4: Yenilenen birey, eski bireyden daha iyi ise yenilenen bireyle devam et, yenilenen birey eski bireyden daha kötü ise eski bireyle devam et,
- 5: En büyük iterasyon sayısına ulaşılmamışsa 2. adıma dön, en büyük iterasyon sayısına ulaşılmışsa optimum tasarımı raporla,
- 6: Bitir.

Algoritmada bireylerin yenilenme işlemi, bireyi oluşturan tasarım değişkenleri için teker teker yapılmaktadır. Bir  $i$ . iterasyondaki nesilde bulunan  $k$ . bireyin,  $j$ . tasarım değişkeni ( $X_{j,k,i}$ );  $X_{j,eni,yi,i}$  en iyi çözümde  $j$ . tasarım değişkeninin değeri,  $X_{j,enkötü,i}$  en kötü çözümde  $j$ . tasarım değişkenini,  $r_{1,j,i}$  ve  $r_{2,j,i}$   $i$ . iterasyonda  $j$ . tasarım değişkeni için  $[0,1]$  aralığında üretilen iki rasgele sayıyı göstermek üzere:

$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i} (X_{j,eniye,i} - |X_{j,k,i}|) - r_{2,j,i} (X_{j,enkötü,i} - |X_{j,k,i}|) \quad (1)$$

ifadesiyle yenilenmektedir. Burada  $X'_{j,k,i}$  ise  $X_{j,k,i}$  nin yenilenen değeridir [15].

## B. AMAÇ FONKSİYONU

Bu çalışmada istinat duvarının optimizasyonunda, ağırlık ve/veya maliyetinin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Duvar maliyetinin minimizasyonunda kullanılan amaç fonksiyonu:

$$f_{maliyet} = M_d W_{dt} + M_b V_b \quad (\$/m) \quad (2)$$

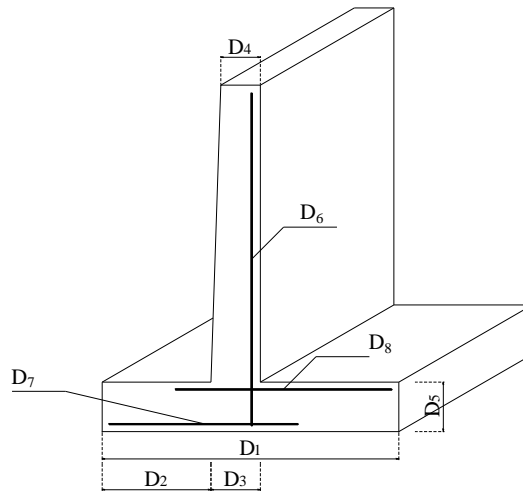
olarak ifade edilmektedir. Burada  $M_d$  donatının birim maliyetini (\$/kg),  $M_b$  betonun birim maliyetini (\$/m<sup>3</sup>),  $W_{dt}$  donatının toplam ağırlığını,  $V_b$  beton hacmini göstermektedir. Duvar ağırlığının en küçüklemesinde kullanılan amaç fonksiyonu ise:

$$f_{weight} = W_{dt} + 100 \cdot \delta_c V_b \quad (kg/m) \quad (3)$$

denklemlerle hesaplanmaktadır. Burada  $\delta_c$  betonun birim hacim ağırlığını göstermektedir. Çalışmada betonun ve donatının birim hacim ağırlıkları sırasıyla 23.5 kN/m<sup>3</sup> ve 78.5 kN/m<sup>3</sup>, beton ve donatının birim maliyetleri ise sırasıyla; 40 \$/m<sup>3</sup> ve 0.40 \$/kg olarak dikkate alınmıştır.

## C. TASARIM DEĞİŞKENLERİ

Tasarım değişkenleri, optimizasyon sürecinde, seçilen algoritma tarafından optimum değerlerinin bulunmasının hedeflendiği parametrelerdir. Oluşturulan optimizasyon probleminde, toplam 8 adet tasarım değişkeninin olduğu Şekil 1'den görülmektedir.



Şekil 1. İstinat duvarı için belirlenen tasarım değişkenleri

Bu şekilde,  $D_1$  ile ifade edilen tasarım değişkeni temelin toplam genişliğini,  $D_2$  ön konsolun (burun) genişliğini,  $D_3$  ve  $D_4$  sırasıyla gövdenin en alt ve en üst kotundaki genişliğini,  $D_5$  temelin kalınlığını,  $D_6$ ,  $D_7$  ve  $D_8$  gövde, burun ve topuk kesitlerinde bulunan donatılarla ilgili bilgileri ifade etmektedir. Donatı bilgileri birer indeks numarası ile ifade edilmektedir. Her bir indeks numarası bir donatı sayısına ve çapına karşılık gelmektedir. Çeşitli donatı sayısı ve çaplarından oluşan bir veri havuzu oluşturulmuştur. Algoritma, bu veri havuzundan indeks numaralarına göre donatı seçimi yapmaktadır. Oluşturulan bu veri havuzu, aşağıdaki Tablo 1’de özet olarak verilmektedir.

**Tablo 1.** İstinatı duvarı donatıları için oluşturulan veri havuzu

İndeks No	Donatı Sayısı (Adet)	Donatı Çapı ve Enkesit Alanı
1	3	10 mm (235.6 mm <sup>2</sup> )
2	4	10 mm (314.1 mm <sup>2</sup> )
3	3	12 mm (339.2 mm <sup>2</sup> )
4	5	10 mm (392.6 mm <sup>2</sup> )
5	4	12 mm (452.3 mm <sup>2</sup> )
...	...	...
...	...	...
221	16	30 mm (11309.7 mm <sup>2</sup> )
222	17	30 mm (12016.5 mm <sup>2</sup> )
223	18	30 mm (12723.4 mm <sup>2</sup> )

Problemlerde kullanılan 8 tasarım değişkeninin alt ve üst sınırları, ayrıık değişim miktarları ve alabilecekleri değer sayıları, Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2.** İstinat duvarı tasarım değişkenleri alt ve üst sınırları, değişim miktarları ve değişkenlerin alabileceği farklı değer sayıları

Tasarım Değişkeni	Alt Sınır	Üst Sınır	Değişim Miktarı	Alabileceği Değer Sayısı
$D_1$	1.31 m	2.33 m	0.01	103
$D_2$	0.44 m	0.78 m	0.01	35
$D_3$	0.20 m	0.33 m	0.01	14
$D_4$	0.20 m	0.33 m	0.01	14
$D_5$	0.27 m	0.33 m	0.01	7
$D_6$	İndeks 1	İndeks 223	1	223
$D_7$	İndeks 1	İndeks 223	1	223
$D_8$	İndeks 1	İndeks 223	1	223

#### D. YAPISAL SINIRLAYICILAR

İstinat duvarı tasarımının sınırlayıcıları, çeşitli tahkiklerden ve sağlanması gereken geometrik şartlar ve yönetmelik koşullarından oluşmaktadır. Duvarın devrilme tahkiki,  $GK_D^{hesap}$  tasarlanan duvar için hesaplanan devrilme güvenlik katsayısını,  $GK_D$  ise aşılmamak üzere dikkate alınan devrilme güvenlik katsayısını göstermek üzere:

$$g_1(D) = \frac{GK_D^{hesap}}{GK_D} - 1 \leq 0 \quad (4)$$

ifadesiyle, kayma tahkiki ise,  $GK_K^{hesap}$  tasarlanan duvar için hesaplanan kayma güvenlik katsayısını,  $GK_K$  ise aşılmamak üzere dikkate alınan kayma güvenlik katsayısını göstermek üzere:

$$g_2(D) = \frac{GK_K^{hesap}}{GK_K} - 1 \leq 0 \quad (5)$$

ifadesiyle, taşıma gücü tahkiki ise,  $GK_{TG}^{hesap}$  tasarlanan duvar için hesaplanan taşıma gücü güvenlik katsayısını,  $GK_{TG}$  ise aşılmamak üzere dikkate alınan taşıma gücü güvenlik katsayısını göstermek üzere:

$$g_3(D) = \frac{GK_{TG}^{hesap}}{GK_{TG}} - 1 \leq 0 \quad (6)$$

ifadesiyle denetlenmektedir.

Temel altında oluşan en küçük zemin basıncının ( $\sigma_{zmin}$ ) sıfırdan küçük (çekme) olmaması için aşağıdaki denetimin de yapılması gerekmektedir.

$$g_4(D) = -\frac{\sigma_{zmin}}{100} \leq 0 \quad (7)$$

Burada, paydadaki 100 katsayısı sınırlayıcıyı ölçeklemek için kullanılmaktadır.

Gövde, burun ve topuk kritik kesitlerinde elde edilen eğilme momenti ( $M_r$ ) ve kesme kuvveti ( $V_r$ ) taşıma kapasiteleri, söz konusu kesitler için hesaplanan tasarım eğilme momenti ( $M_d$ ) ve kesme kuvvetinden ( $V_d$ ) büyük olmalıdır. Bu denetimler:

$$g_{5-7}(D) = \frac{M_d}{M_r} - 1 \leq 0 \quad (8)$$

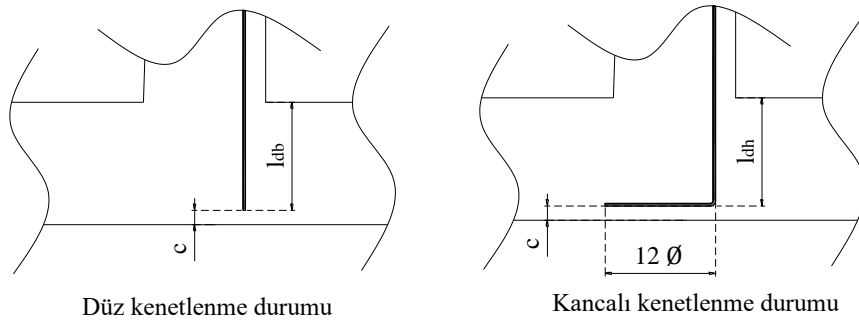
$$g_{8-10}(D) = \frac{V_d}{V_r} - 1 \leq 0 \quad (9)$$

ifadeleriyle gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan aynı kritik kesitlere yerleştirilmiş olan asal donatıların oranının ( $\rho$ ), minimum donatı oranından ( $\rho_{min}$ ) küçük ve maksimum donatı oranından ( $\rho_{max}$ ) büyük olmaması gerekmekte olup, bu oranlar:

$$g_{11-13}(D) = \frac{\rho_{min}}{\rho} - 1 \leq 0 \quad (10)$$

$$g_{14-16}(D) = \frac{\rho}{\rho_{\max}} - 1 \leq 0 \quad (11)$$

ifadeleriyle denetlenmektedir. Burada minimum ve maksimum donatı oranı sınırlarının, ACI 318 [16] yönetmeliğine göre hesaplandığı belirtilmelidir. Donatı uzunluklarının belirlenmesinde, diğer bir parametre de kenetlenme boylarının hesabıdır. Kenetlenme boylarının belirlenmesi, toplam donatı uzunluklarının ve dolayısıyla da donatı ağırlıklarının hesaplanması için gerekli olmaktadır. Tasarımın uygulanabilir olabilmesi için hesaplanan kenetlenme boylarının kesit içerisine yerleşebilmesi gerekmektedir. Kenetlenme boyları kancalı ya da düz kenetlenme yapılacak şekilde ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Seçilen kesit için her iki durum da uygun oluyorsa, daha az donatı gerektiren kenetlenme şekli seçilmektedir. Gövde asal donatısının kancalı ve düz kenetlenme durumlarının şematik gösterimi, Şekil 2'de verilmektedir.

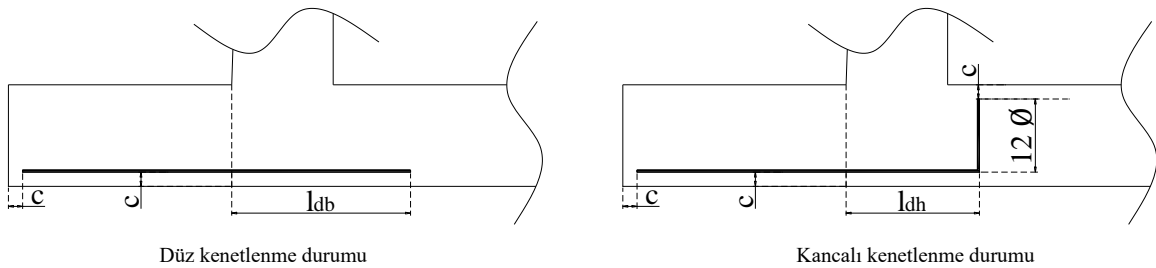


**Şekil 2.** İstinat duvarı gövde asal donatısının kenetlenme biçimleri

Bu iki durum için oluşturulan sınırlayıcılar ise:

$$g_{17}(D) = \frac{l_{db}}{D_5 - c} - 1 \leq 0 \quad \text{ya da} \quad g_{17}(D) = \frac{l_{dh}}{D_5 - c} - 1 \leq 0 \quad (12)$$

bağıntıları ile ifade edilmektedir. Ön konsol asal donatısının kancalı ve düz kenetlenme durumlarının şematik gösterimi, Şekil 3'te verilmektedir.

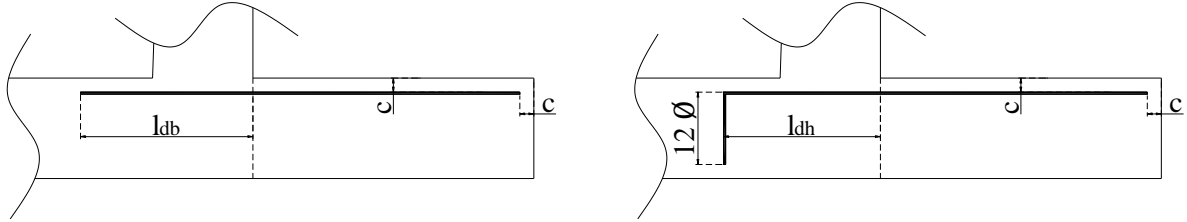


**Şekil 3.** İstinat duvarı temel ön konsolu asal donatısının kenetlenme biçimleri

Bu iki durum için oluşturulan sınırlayıcılar ise:

$$g_{18}(D) = \frac{l_{db}}{D_1 - D_2 - c} - 1 \leq 0 \quad \text{yada} \quad g_{18}(D) = \frac{12\emptyset}{D_5 - c} - 1 \leq 0 \quad (13)$$

bağlantıları ile ifade edilmektedir. Arka konsol asal donatısının kancalı ve düz kenetlenme durumlarının şematik gösterimi ise, Şekil 4'te verilmektedir.



**Şekil 4.** İstinat duvarı temel arka konsolu asal donatısının kenetlenme biçimleri

Bu iki durum için oluşturulan sınırlayıcılar ise:

$$g_{19}(D) = \frac{l_{db}}{D_2 + D_3 - c} - 1 \leq 0 \quad \text{yada} \quad g_{19}(D) = \frac{12\emptyset}{D_5 - c} - 1 \leq 0 \quad (14)$$

bağlantıları ile ifade edilmektedir. Bu bağlantılarda; c net beton örtüsünü,  $\emptyset$  asal donatı çapını,  $l_{db}$  düz kenetlenme boyunu,  $l_{dh}$  kancalı kenetlenme durumunda asal donatı doğrultusunda uzatılan donatı boyunu göstermektedir.

Son olarak, seçilen tasarım değişkenlerine göre temel boyutlarının tutarlı olmasını sağlayan geometrik bir sınırlayıcı da kullanılmıştır. Söz konusu bu sınırlayıcı ile,  $D_1$  ile ifade edilen temel genişliğinin, ön konsol ile gövde genişliğinin toplamından ( $D_2 + D_3$ ) büyük olması sağlanmaktadır. Söz konusu geometrik sınırlayıcı

$$g_{20}(D) = \frac{D_2 + D_3}{D_1} - 1 \leq 0 \quad (15)$$

ifadesiyle gösterilmektedir.

### III. SAYISAL UYGULAMA

İlk olarak, JAYA algoritması kullanılarak seçilen bir istinat duvarının minimum maliyet veya ağırlıkla tek amaç fonksiyonlu olarak optimum tasarımları gerçekleştirilmiş, daha sonra maliyet ve ağırlık amaç fonksiyonları birlikte dikkate alınarak, aynı problem çok amaçlı olarak çözülmüştür. Tek amaç fonksiyonlu optimizasyonlarda, 100'er bağımsız koşum gerçekleştirilmiştir. Seçilen örnekte; duvar yüksekliği 3 m., duvar arkasındaki şev eğimi  $10^\circ$ , duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısı  $36^\circ$ , zemin birim hacim ağırlığı  $17.5 \text{ kN/m}^3$ , temel zemininin birim hacim ağırlığı  $18.5 \text{ kN/m}^3$ , temel zemininin kohezyonu 125 kPa, burun üzerindeki zemin kalınlığı 0.5 m, sürşarj yükü 20 kPa, yük katsayısı 1.7, beton örtüsü 70 mm, betonun basınç dayanımı 21 MPa, donatının akma dayanımı 400

MPa, rötre ve sıcaklık değişimi donatısı oranı 0.002 olarak alınmıştır. İstinat duvarının; devrilme, kayma ve zemin taşıma gücü denetimlerinde aşılmaması gereken güvenlik katsayıları sırasıyla; 1.5, 1.5 ve 3.0 olarak dikkate alınmıştır. Algoritma, MATLAB yazılımında kodlanmıştır. Sınırlayıcıların optimizasyon problemine tanıtılmasında, ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi, istinat duvarı problemi, öncelikle minimum maliyet ve ağırlık için ayrı ayrı JAYA algoritmasıyla tek amaç fonksiyonlu olarak çözülmüştür. Bu çözümlerin her birinde 100'er bağımsız koşum gerçekleştirilmiştir. Her bir koşumda, 120080 amaç fonksiyonu değerlendirmesi yapılmıştır. Bu koşumlardan elde edilen en iyi, en kötü, ortalama maliyet ve ağırlık değerleriyle bu değerlerin standart sapmaları ve başarımları, Tablo 3'te verilmektedir. Başarımları, bağımsız koşullarda global minimuma ulaşılabilen koşum oranını ifade etmektedir. Diğer taraftan, global minimuma ulaşılan amaç fonksiyonu değerlendirme sayılarının en iyi, en kötü ortalama değerleri ve bu değerlerin standart sapmaları da yine Tablo 3'te verilmektedir. Burada, global minimuma ulaşamayan koşumlarda, bu koşullara ilişkin amaç fonksiyonu değerlendirme sayısının maksimum değer olan 120080 olarak alındığı belirtilmelidir.

**Tablo 3.** Koşumlardan elde edilen en iyi, en kötü, ortalama maliyet ve ağırlık değerleriyle bu değerlerin standart sapmaları, başarımları, amaç fonksiyonu değerlendirme sayılarının en iyi, en kötü ortalama değerleri ve bu değerlerin standart sapmaları

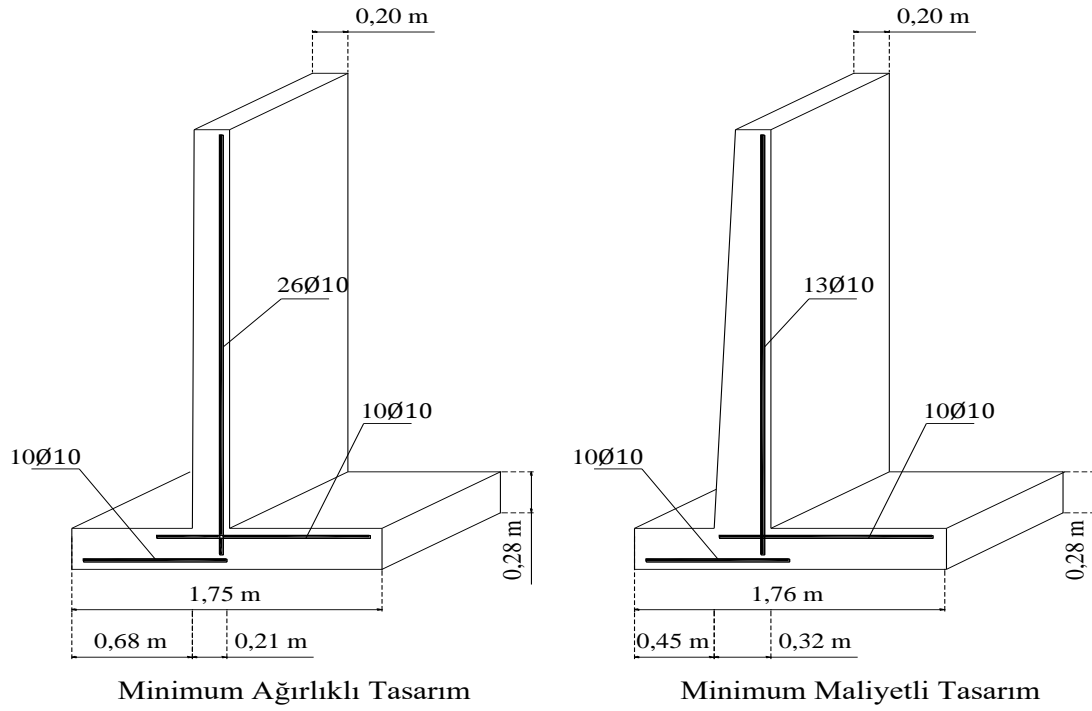
	<b>Ağırlık Optimizasyonu</b>	<b>Maliyet Optimizasyonu</b>
En iyi değer	2684.697 (kg/m)	72.277 (\$/m)
Ortalama değer	2687.058 (kg/m)	72.436 (\$/m)
En kötü değer	2892.459 (kg/m)	77.625 (\$/m)
Standart sapma	20.940 (kg/m)	0.757 (\$/m)
Başarımları	% 98	% 80
En iyi AFDS	45280	19760
Ortalama AFDS	70627	51513
En kötü AFDS	120080	120080
AFDS Standart sapması	15843	36454

\*AFDS: Amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı

Tablo 3'ten jaya algoritması ile maliyet optimizasyonundan duvarın maliyetinin 72.277 \$/m olarak elde edildiği görülmektedir. Aynı algoritma ile gerçekleştirilen ağırlık optimizasyonundan, duvarın ağırlığı 2684.697 kg/m olarak elde edilmiştir. Maliyet optimizasyonunda başarımlarının % 80, ağırlık optimizasyonunda ise % 98 olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, maliyet optimizasyonunda jaya algoritması, 100 bağımsız koşumun %80'sinde, ağırlık optimizasyonunda ise %98'sinde global minimuma ulaşabilmiştir. Diğer taraftan, amaç fonksiyonu değerlendirme sayısının ortalaması, maliyet optimizasyonu için 51513 iken, ağırlık optimizasyonu için ise 70627 olarak belirlenmiştir. Bu durum, ağırlık optimizasyonunda başarımlarının yüksek olmasına rağmen global minimuma ulaşılan ortalama amaç fonksiyonu değerlendirme sayısının, maliyet optimizasyonundakinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Buradan, ağırlık optimizasyonundaki yakınsamanın daha yavaş olduğu, ancak algoritmanın global optimuma ulaşabilmede daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

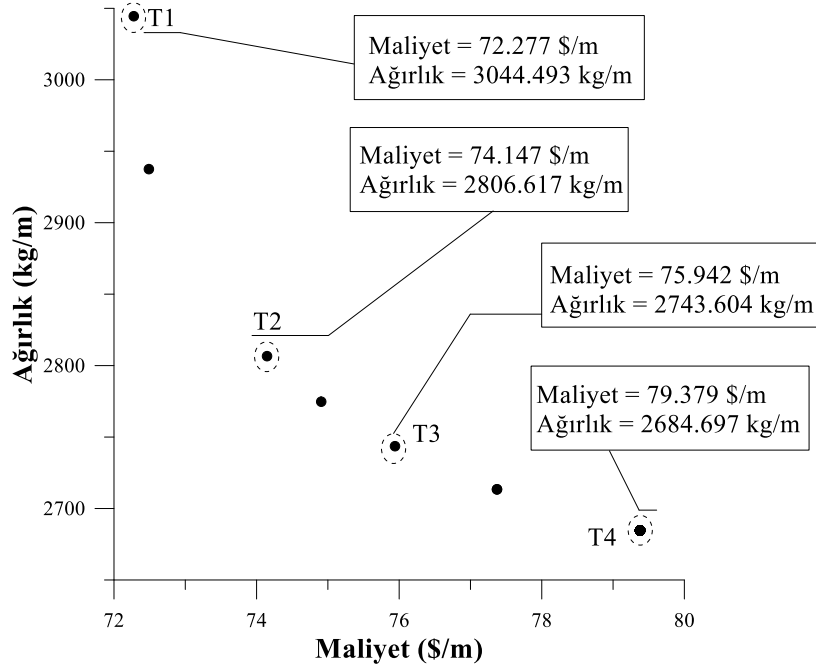
Jaya algoritmasıyla gerçekleştirilen ağırlık ve maliyet optimizasyonu sonucunda elde edilen optimum tasarım değişkenlerinin şematik gösterimleri ise Şekil 5'te verilmektedir.





Şekil 5. Minimum ağırlıklı ve maliyetli tasarımların şematik gösterimi

Bu problemin Jaya algoritması ile çok amaçlı optimizasyonu için ise, ağırlıklandırılmış toplama yöntemi kullanılmıştır. İstinat duvarının maliyetine göre ağırlığının minimum değerlerini değişimini gösteren pareto çözümler, Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Çok amaçlı optimizasyonda pareto çözüm grafiği

Şekil 6'dan, pareto çözümlerin uygun bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Pareto çözümlerden elde edilen farklı tasarımları karşılaştırmak için dört karakteristik tasarım seçilmiştir ve bu tasarımlar grafik üzerinde T1, T2, T3 ve T4 noktaları ile ifade edilmiştir. Bu noktaların maliyet ve ağırlık değerleri de şekil üzerinde gösterilmiştir. Grafikteki T1 ve T4 noktalarına karşılık gelen tasarımlar, uç tasarımları göstermektedir. Bunlardan T1 tasarımı amaç fonksiyonunun minimum maliyet seçildiği optimizasyona, T4 tasarımı ise amaç fonksiyonunun minimum ağırlık seçildiği optimizasyona karşılık gelmektedir. T2 ve T3 tasarımları ise elde edilen pareto sonuçlardan rastgele seçilen iki tasarımı göstermektedir. Uç tasarımlar olan T1 ve T4 tasarım arasında maliyet artışının yaklaşık olarak %10 ve yine bu iki tasarım arasında ağırlık artışının ise yaklaşık olarak %14 olduğu görülmektedir.

#### IV. SONUÇ

Bu çalışmada, sezgisel bir algoritma olan Jaya algoritması kullanılarak betonarme konsol bir istinat duvarının optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımlarda, öncelikle amaç fonksiyonu olarak minimum maliyet ve minimum ağırlık ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Yapılan koşullardan elde edilen bulgular, ağırlık optimizasyonu için başarı oranının maliyet optimizasyonuna göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte ağırlık optimizasyonunun, maliyet optimizasyonu ile karşılaştırıldığında başarı oranının yüksek olmasına rağmen, ortalama amaç fonksiyonu değerlendirme sayısının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buradan ağırlık optimizasyonunda yakınsamanın daha yavaş olduğu, ancak algoritmanın global optimuma ulaşabilmede daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Daha sonra, ağırlık ve maliyet amaç fonksiyonları birlikte dikkate alınarak aynı problem, çok amaç fonksiyonlu olarak tekrar çözülmüştür. Bu çözüm sonucunda, pareto noktalar elde edilerek çok amaçlı optimizasyon için pareto dağılım grafiği tutarlı bir şekilde elde edilmiştir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: FBB-2015-130)

#### V. KAYNAKLAR

- [1] A. Saribas ve F. Erbatur, "Optimization and Sensitivity of Retaining Structures", *Journal of Geotechnical Engineering*, c. 122, s.8, ss. 649-656, 1996.
- [2] A. Kaveh ve A.F. Behnam, "Charged System Search Algorithm for the Optimum Cost Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls", *Arabian Journal for Science and Engineering*, c. 38, s. 3, ss. 563-570, 2013.
- [3] B. Ceranic, C. Fryer ve R.W. Baines, "An Application of Simulated Annealing to the Optimum Design of Reinforced Concrete Retaining Structures", *Computers & Structures*, c. 79, s. 17, ss. 1569-1581, 2001.
- [4] V. Yepes, J. Alcalá, C. Perea ve F. González-Vidosa, "A Parametric Study of Optimum Earth-Retaining Walls by Simulated Annealing", *Engineering Structures*, c. 30, s. 3, ss. 821-830, 2008.

- [5] G.L. Sivakumar Babu ve B.M. Basha, "Optimum Design of Cantilever Retaining Walls Using Target Reliability Approach", *International Journal of Geomechanics*, c. 8, s. 4, ss. 240-252, 2008.
- [6] V. Yepes, F. Gonzalez-Vidosa, J. Alcala ve P. Villalba, "CO<sub>2</sub>-Optimization Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Based on a VNS-Threshold Acceptance Strategy", *Journal of Computing in Civil Engineering*, c. 26, s. 3, ss. 378-386, 2011.
- [7] A. Akin, ve M.P. Saka, "Optimum Design of Concrete Cantilever Retaining Walls using Harmony Search Algorithm". 9<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering, Trabzon, 2010.
- [8] C.V. Camp ve A. Akin, "Design of Retaining Walls Using Big Bang–Big Crunch Optimization", *Journal of Structural Engineering*, c. 138, s. 3, ss. 438-448, 2011.
- [9] A.H. Kayhan ve A. Demir, "Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimum Tasarımı", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 22, s. 3, ss. 129-135, 2016.
- [10] A.H. Gandomi, A.R. Kashani, D.A. Roke ve M. Mousavi, "Optimization of Retaining Wall Design using Recent Swarm Intelligence Techniques", *Engineering Structures*, c. 103, ss. 72-84, 2015.
- [11] M. Khajehzadeh, M.R. Taha, A. El-Shafie ve M. Eslami, "Modified Particle Swarm Optimization for Optimum Design of Spread Footing and Retaining Wall", *Journal of Zhejiang University-Science A*, c. 12, s. 6, ss. 415-427, 2011.
- [12] A. Kaveh, ve M. Khayatad, "Optimal Design of Cantilever Retaining Walls using Ray Optimization Method", *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering*, c. 38, s. C1+, ss. 261-274, 2014.
- [13] I. Aydogdu, "Cost Optimization of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls under Seismic Loading using a Biogeography-Based Optimization Algorithm with Levy Flights", *Engineering Optimization*, c. 49, s. 3, ss. 381-400, 2017.
- [14] M. Khajehzadeh, M.R. Taha ve M. Eslami, "A New Hybrid Firefly Algorithm for Foundation Optimization", *National Academy Science Letters*, c. 36, s.3, ss. 279-288, 2013.
- [15] R. Rao, "Jaya: a Simple and New Optimization Algorithm for Solving Constrained and Unconstrained Optimization Problems", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, c. 7, s. 1, ss. 19-34, 2016.
- [16] *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, ACI Committee, ACI 318, 2014.