



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Tabanında anahtar kesiti bulunan betonarme istinat duvarlarının jaya algoritmasıyla optimum tasarımı

Optimum design of rc retaining walls with key section using jaya algorithm

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan Tahsin ÖZTÜRK¹, Erdem TÜRKELİ²

ORCID¹: 0000-0001-8479-9451

ORCID²: 0000-0002-4293-4712

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Öztürk H. T. ve Türkeli E., "Tabanında anahtar kesiti bulunan betonarme istinat duvarlarının jaya algoritmasıyla optimum tasarımı", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 283-291, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.432031

Tabanında Anahtar Kesiti Bulunan Betonarme İstinat Duvarlarının Jaya Algoritmasıyla Optimum Tasarımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan Tahsin ÖZTÜRK^{1*}, Erdem TÜRKELİ²

¹Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye

²Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Programı, Ordu Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 07.12.2017 ; Kabul/Accepted : 20.05.2018)

ÖZ

Geleneksel tasarım süreçlerinde bir yapının tasarımında bir önboyutla tasarıma başlanarak, bu tasarımın gerekli koşulları sağlamaması durumunda mühendislik önsezisiyle tasarım değiştirilerek yenilenmektedir. Bu süreçte, başta dayanım olmak üzere; dayanıklılık, stabilite, süneklik ve rijitlik koşullarını sağlayan bir yapı tasarlandığında, özellikle daha ekonomik bir yapı için tasarım birkaç deneme-yanılmadan öteye gidilememektedir. Oysa kaynakların gün geçtikçe azalması ve çevre kirliliğindeki artışlar, yapıların minimum maliyetle yada emisyonla tasarlanmalarını gerektirmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, tabanında anahtar kesiti bulunan bir betonarme konsol istinat duvarının, JAYA algoritması kullanılarak, minimum maliyetle yada CO₂ emisyonuyla tasarımlarının gerçekleştirilmesinden ibarettir. Betonarme istinat duvarı probleminde 12 tasarım değişkeni bulunmaktadır. Bu tasarım değişkenleri duvar boyutlarına ve duvarın çeşitli bölgelerindeki donatılara ilişkindir. Problemin toplam 25 sınırlayıcı bulunmakta ve bu sınırlayıcılar duvarın kayma, devrilme ve taşıma gücü tahkikleri, betonarme kesit denetimleri ve boyut ile donatılara ilişkin koşullardan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen sayısal uygulamanın optimum tasarımda; duvar arkasındaki zemin parametreleriyle sürşarj yükünün büyüklüğünün duvarın minimum maliyetine ve CO₂ emisyon değerine etkisi incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, istinat duvarı, jaya algoritması.

Optimum Design of Rc Retaining Walls with Key Section using Jaya Algorithm

ABSTRACT

In the traditional design process, the design starts with preliminary dimensions that may change by using engineering intuition after unfulfillment of necessary design conditions. By this way, the design is renewed with the new dimensions determined. In this process, when designing a structure that provides enough durability, stability, ductility and stiffness, the design is not going to go beyond trial-and-error especially for a more economical structure. However, the ever-decreasing supply of resources and the increase in environmental pollution require the structures to be designed with minimum cost or emission. The main purpose of this study is to perform minimum cost or CO₂ emission design of a reinforced concrete console retaining wall with a key section at the bottom by using JAYA algorithm. There are 12 design variables utilized in this optimization process. The design variables are related to the wall dimensions and reinforcement placed at the various regions of the wall. The design problem has a total of 25 constraints that are related with the slip, overturning, bearing capacity and overall dimensions of the wall, dimension check of the cross section and the amount of reinforcement. In the optimum design of the numerical example given in this study, the effect of the magnitude of the surcharge load and the effect of the parameters of the soil behind the wall on the minimum cost and CO₂ emission design of the wall is investigated.

Keywords: Optimization, retaining wall, jaya algorithm.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilindiği gibi istinat duvarları yol ve temel inşaatlarında sıklıkla kullanılan sanat yapılarıdır. Bu yapılar kagir, ön üretimli yada yerinde dökme beton yada betonarme olarak üretilmektedirler. Bunlardan konsol betonarme istinat duvarları daha ince kesitler gerektirdiğinden kazı miktarının da az olması istendiği yerlerde daha çokça tercih edilmektedir. Konsol istinat duvarları gövde, burun ve topuk kesitlerinden oluşmaktadır.

Bilgisayar yazılım ve donanımlarının gelişmesiyle sayısal optimizasyon teknikleri önemli bir yol kat etmiş ve birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel yöntemlerle tasarlanan yapılarda ekonomi daha çok mühendislik önsezisiyle sağlanırken, optimizasyon tekniklerinin yapısal tasarımda kullanılmasıyla minimum maliyetli yapıların inşa edilmesi sağlanabilmiştir. Dahası bu gelişmeler sürekli değişkenli problemlerin yanı sıra daha karmaşık olan ve ayrık değişkenlere sahip problemlerin çözülebilmelerini de mümkün kılmıştır [1]. Geçtiğimiz on yılda birçok sezgisel algoritma geliştirilmiş ve bu

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : htozturk@ktu.edu.tr

algoritmalar mühendislik problemlerinde kullanılmıştır. [2-5]

İstinat duvarlarının optimizasyonu konusunda da literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan istinat duvarlarının sadece minimum maliyetle optimizasyonu; Benzeşimli Tavlama Algoritmasıyla [6,7], kademeli gövdeye sahip istinat duvarlarında Yüklü Sistem Arama Algoritmasıyla [8], Değiştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasıyla [9] gerçekleştirilmiştir. Zemin tahkiklerine göre optimizasyonu hedef güvenilirlik yaklaşımıyla [10], sadece minimum CO₂ emisyonu için optimizasyonu, melez bir algoritma olan Çoklu Başlangıç Değişkenli Komşuluk Arama Eşiği Stratejik Algoritmasıyla [11], minimum maliyet yada ağırlık için optimizasyonu; Doğrusal Olmayan Programlamayla [12], Armoni Arama Algoritmasıyla [13], Büyük Patlama Büyük Çöküş Algoritmasıyla [14], Parçacık Sürü, Ateş Böceği ve Guguk Kuşu algoritmalarıyla karşılaştırılabilir olarak [15] gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deprem yüklerini de dikkate alarak maliyet optimizasyonunda, Işın Optimizasyon Yöntemi [16], Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması [17] ve Levy Uçuşları ile Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon Algoritması [18] kullanılmıştır. Bununla birlikte literatürde JAYA Algoritmasının istinat duvarlarına uygulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada maliyet optimizasyonu yanında CO₂ emisyonu için de optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bilindiği gibi karbon emisyonun çevreye verdiği zararlar günden güne artmaktadır. Karbon emisyonunun artması atmosferimizde sera etkisine neden olmaktadır. Bu bağlamda yapı malzemelerinin üretiminde ortaya çıkan emisyon değerleri dikkate alınarak, yapıda kullanılan malzeme miktarlarının bu bakımdan optimize edilmesiyle CO₂ salınımının minimuma indirilmesi, çevreye verilen zararı da minimum düzeye indirecektir.

Bu çalışmanın temel amacı tabanında anahtar kesit eklenmiş bir konsol betonarme istinat duvarının maliyet yada CO₂ emisyonu bakımından optimum tasarımını JAYA algoritmasıyla gerçekleştirmek ve bu optimum tasarımda; duvar arkasındaki ve temeldeki zemin parametreleriyle sürşarj yükün büyüklüğünün duvarın minimum maliyetine ve CO₂ emisyon değerine etkisi incelemektir.

2. JAYA ALGORİTMASI (JAYA ALGORITHM)

JAYA Algoritması en iyi çözüme ulaşarak zafer kazanmaya çalışan bu özelliğiyle Sanskritçede zafer anlamına gelen bir kelime olan JAYA ile adlandırılan bir algoritmadır [6]. Algoritma başarıya ulaşmak için sürekli iyi çözümlere yaklaşmaya, başarısızlıktan uzaklaşmak için ise kötü çözümlerden uzaklaşmaya çalışmaktadır. Bu algoritmada da diğer optimizasyon algoritmaları gibi, bir amaç fonksiyonunun ($f(x)$) maksimizasyonu yada minimizasyonu hedeflenmektedir. Herhangi bir i . iterasyonda m tasarım değişkeni sayısını, ($j=1,2,\dots,m$), n aday çözüm sayısını (popülasyonda en iyi ve en kötü çözüm dışındaki diğer bireylerin sayısını) ($k=1,2,\dots,n$) göstermektedir. Aday çözümler içerisinde en iyi çözüm

$f(x)_{best}$, en kötü çözüm ise $f(x)_{worst}$ olarak saklanmaktadır. Algoritmada herhangi bir i . iterasyonda k . aday çözümün j . Değişkeni $X_{j,k,i}$ şeklinde ifade edilirse, bu değişken:

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

ifadesiyle yenilenmektedir. Burada $X_{j,best,i}$ en iyi çözümde j . tasarım değişkeninin değeri, $X_{j,worst,i}$ en kötü çözümde j . tasarım değişkeninin değeri $X'_{j,k,i}$ ise $X_{j,k,i}$ 'nin yenilenen değeridir. $r_{1,j,i}$ ve $r_{2,j,i}$ i . iterasyonda j . tasarım değişkeni için $[0,1]$ aralığında üretilen iki rastgele sayıdır. $r_{1,j,i}(X_{j,best,i} - |X_{j,k,i}|)$ ifadesi iyi çözüme yaklaşma eğilimini, $r_{2,j,i}(X_{j,worst,i} - |X_{j,k,i}|)$ ifadesi ise kötü çözümden uzaklaşma eğilimini yönetmektedir. Yeni türetilen $X'_{j,k,i}$ ifadesinin, daha iyi bir amaç fonksiyonu değeri vermesi durumunda eski çözüm terk edilerek bu çözüm benimsenmektedir. Benimsenen bu çözümler bir sonraki iterasyon için giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Algoritmaya ilişkin akış diyagramı aşağıdaki Şekil 1'de verilmektedir. Bu algoritma ile ilgili ayrıntılı bilgiye [19] kaynağından ulaşılabilmektedir.

3. AMAÇ FONKSİYONU VE TASARIM DEĞİŞKENLERİ (OBJECTIVE FUNCTION AND DESIGN VARIABLES)

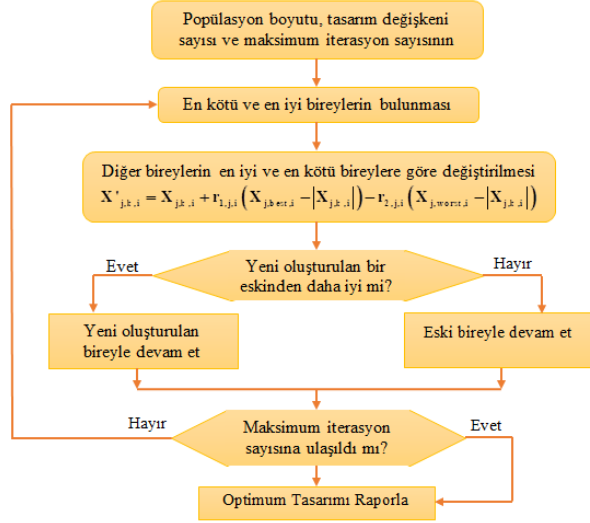
Çalışmanın amacı tabanında anahtar kesit bulunan betonarme konsol istinat duvarlarının minimum maliyetle optimum tasarımlarının gerçekleştirilmesidir. Maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonu için kullanılan amaç fonksiyonları sırasıyla:

$$f_{maliyet} = C_s W_s + C_c V_c \quad (\$/m) \quad (2)$$

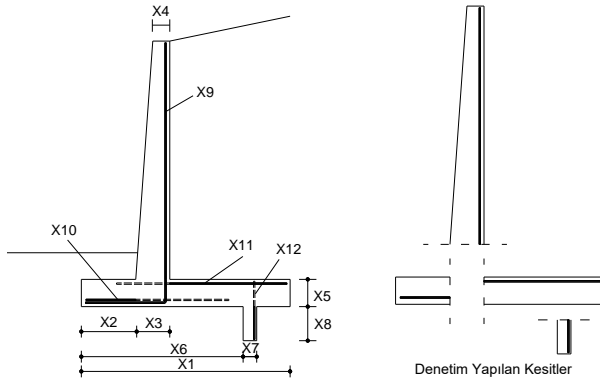
$$f_{emisyon} = E_s W_s + E_c V_c \quad (kg/m) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada C_s donatının birim maliyetini ($\$/kg$), W_s kullanılan donatı ağırlığını (kg), C_c betonun birim maliyeti ($\$/m^3$) ve V_c kullanılan beton hacmini (m^3), E_s donatı için birim CO₂ emisyon değerini, E_c beton için birim CO₂ emisyon değerini göstermektedir. Beton ve donatının birim maliyetleri sırasıyla $40 \$/m^3$ ve $0.40 \$/kg$ olarak alınmıştır. Birim emisyon değerleri ise donatı ve beton için sırasıyla $2,82 \text{ kg/kg}$ ve $224,34 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır [20].

Tabanında anahtar kesit bulunan konsol istinat duvarının tasarım değişkenleri kesit boyutları ve asal donatılara ilişkin değişkenlerden oluşmaktadır. Bu değişkenler aşağıdaki Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Jaya Algoritması Akış Diyagramı [19] (Flow chart of JAYA Algorithm [19])



Şekil 2. İstinat duvarının tasarım değişkenleri ve denetim yapılan kesitler (Design variables of retaining wall and controlled sections)

4. SINIRLAYICILAR (CONSTRAINTS)

Yapısal sınırlayıcılar istinat duvarının devrilme, kayma ve zemin taşıma gücü denetimlerinin yanı sıra donatıların kenetlenme boylarının, maksimum ve minimum donatı oranlarının duvar geometrisinin uygunluğunun ve kritik kesitlerin kesme ve moment kapasitelerinin denetimi için kullanılmaktadır. Duvarın devrilme, kayma ve zemin taşıma gücü denetimleri:

$$g(1) = \frac{SF_o^{design}}{SF_o} - 1 \leq 0 \quad (4)$$

$$g(2) = \frac{SF_s^{design}}{SF_s} - 1 \leq 0 \quad (5)$$

$$g(3) = \frac{SF_B^{design}}{SF_B} - 1 \leq 0 \quad (6)$$

Burada SF_o , SF_s ve SF_B duvar için devrilme, kayma ve taşıma gücü denetimlerinden hesaplanan güvenlik katsayılarıdır. SF_o^{design} , SF_s^{design} ve SF_B^{design} ise

sağlanmasını istediğimiz ve tasarımda dikkate aldığımız güvenlik katsayılarıdır. Duvar altında çekme gerilmelerinin çıkması istenmediğinden bu durum da;

$$g(4) = -\frac{q_{min}}{100} \leq 0 \quad (7)$$

sınırlayıcısıyla denetlenmektedir. Burada q_{min} temel altında oluşan minimum gerilmedir. Sınırlayıcıda kullanılan 100 değeri sınırlayıcıyı ölçeklemek için kullanılmaktadır [12]. Gövdede, burun, topuk ve anahtar kesitte moment (M_r) ve kesme kapasitelerinin (V_r) tasarım moment (M_d) ve kesme kuvvetlerinden (V_d) büyük olması,

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

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

sınırlayıcılarıyla, gövdede, burun, topuk ve anahtar kesitte asal donatı oranının minimum donatı oranından büyük ve maksimum donatı oranından küçük olup olmadığı,

$$g(13:16) = \frac{\rho_{min}}{\rho} - 1 \leq 0 \quad (10)$$

$$g(17:20) = \frac{\rho}{\rho_{max}} - 1 \leq 0 \quad (11)$$

sınırlayıcılarıyla denetlenmektedir. Burada ρ_{max} ve ρ_{min} yönetmeliklerde [22] ifade edilen maksimum ve minimum donatı oranı, ρ ise kesitlerdeki donatı oranını göstermektedir. Duvar geometrisinin doğruluğunu sağlamak için,

$$g(21) = \frac{X_2 + X_3}{X_1} - 1 \leq 0 \quad (12)$$

sınırlayıcısı, anahtar kesit bulunan duvarda, anahtar kesitin geometrik olarak temele uygunluğunu sağlamak için ise aşağıda verilen,

$$g(22) = \frac{X_6 + X_7}{X_1} - 1 \leq 0 \quad (13)$$

şeklinde ifade edilen sınırlayıcı kullanılmaktadır. Donatıların kenetlenme boyları duvar kesitleri içinde kalması gerekmektedir. Burada kenetlenme boyu iki aşamada hesaplanmaktadır. İlk olarak düz kenetlenme boyu hesaplanarak mevcut bölgeye yerleşip yerleşmediği denetlenmektedir. Düz kenetlenme boyu, mevcut bölgeye sığmıyorsa, kancalı kenetlenme boyu hesaplanmakta ve bu boyun da mevcut bölgeye yerleşip yerleşmediği denetlenmektedir. Her iki tip kenetlenme de uygun oluyorsa, daha az donatı gerektiren kenetlenme türü tercih edilmektedir. Kenetlenme boyları

$$g(23) = \frac{l_{db}}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \quad \text{yada}$$

$$g(23) = \frac{l_{db}}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \text{ (gövdede)} \quad (14)$$

$$g(24) = \frac{l_{db}}{X_1 - X_2 - c} - 1 \leq 0 \text{ yada}$$

$$g(24) = \frac{12\Phi}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \text{ (burunda)} \quad (15)$$

$$g(25) = \frac{l_{db}}{X_2 + X_3 - c} - 1 \leq 0 \text{ yada}$$

$$g(25) = \frac{12\Phi}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \text{ (topukta)} \quad (16)$$

$$g(26) = \frac{l_{db}}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \text{ yada}$$

$$g(26) = \frac{l_{db}}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \text{ (anahtarda)} \quad (17)$$

uygulamada seçilen duvarın tasarım parametreleri Çizelge 3’de verilmektedir.

Çizelge 2. Asal donatılar için tasarım değişkeni veri havuzu (Data pool of design variables for main bars)

İndeks No	Donatı Sayısı	Donatı çapı (mm)	Donatı Alanı (mm ²)
1	3	10	235.6
2	4	10	314.1
3	3	12	339.2
4	5	10	392.6
...
...
221	16	30	11309.7
222	17	30	12016.5
223	18	30	12723.4

Çizelge 1. Tasarım değişkenlerinin alt, üst sınırları ve artım değerleri (Upper, lower bounds and increments of design variables)

Tasarım Değişkeni	Birim	Alt Limit	Üst Limit	Artım
X1	m	1.96	5.50	0.01
X2	m	0.65	1.16	0.01
X3	m	0.25	0.50	0.01
X4	m	0.25	0.50	0.01
X5	m	0.40	0.50	0.01
X6	m	1.96	5.50	0.01
X7	m	0.20	0.50	0.01
X8	m	0.20	0.50	0.01
X9	İndeks No	#1	#223	#1
X10	İndeks No	#1	#223	#1
X11	İndeks No	#1	#223	#1
X12	İndeks No	#1	#223	#1

bağıntılarıyla denetlenmektedir. Burada Ø kenetlenecek donatının çapını, c beton örtüsünü, l_{db} düz kenetlenme boyunu, l_{dh} ise kancalı kenetlenmeye ilişkin donatı boyunu göstermektedir. Bu iki durumda geometrik olarak uygunsa minimum maliyeti veren kenetlenme çeşidi seçilmektedir.

5. SAYISAL UYGULAMA (NUMERICAL EXAMPLE)

Sayısal uygulama olarak anahtar kesiti olan ve kohezyonsuz bir zemin üzerine oturan istinat duvarının minimum maliyet için optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, duvarda anahtar kesit bulunması durumunda 12 tasarım değişkeni bulunmakta ve bu tasarım değişkenleri Şekil 1’de görülmektedir. Bu problem için tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları Çizelge 1’de verilmektedir. Problemden asal donatılar 223 adet donatı konfigürasyonu bulunan ve Çizelge 2’de özetlenen tasarım değişkeni havuzundan alınmıştır. Bu

Çizelge 3. Sayısal uygulama için tasarım parametreleri (Design parameters for numerical example)

Giriş Parametresi	Değeri
Duvar Gövde Yüksekliği	4.5 m
Şev Eğimi (β)	0 °
Duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısı (φ)	28 °
Temel zemininin içsel sürtünme açısı(φ')	34 °
Duvar arkasındaki zeminin birim hacim ağırlığı (γ _s)	18.5 kN/m ³
Temel zemininin birim hacim ağırlığı (γ _s ')	17 kN/m ³
Temel zemininin kohezyonu (c)	0 kPa
Duvar önündeki zemin derinliği (D)	0.3 m
Sürşarj yükü (q)	30 kPa
Devrilme güvenlik katsayısı	1.5
Kayma güvenlik katsayısı	1.5
Zemin taşıma gücü güvenlik katsayısı	1.5
Yük katsayısı	1.7
Beton örtüsü	70 mm
Beton basınç dayanımı	21 MPa
Donatı akma dayanımı	400 MPa
Rötre ve sıcaklık değişimi donatısı oranı	0.002
Betonun birim hacim ağırlığı	23.5 kN/m ³
Donatının birim hacim ağırlığı	78.5 kN/m ³

Söz konusu problem JAYA Algoritmasıyla çözülmüş ve maliyet ile CO₂ emisyonu optimizasyonları için 100'er bağımsız koşul gerçekleştirilmiştir. Algoritma MATLAB yazılımında programlanmıştır. Koşullarda INTEL(R) Xeon(R) E5-1650 v3 CPU 3.50 GHz işlemciye sahip iş istasyonu kullanılmıştır. Dikkate alınan sınırlayıcıların algoritmalara eklenmesinde, ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Her bir koşulda popülasyon boyutu 80 alınarak 240080 amaç fonksiyonu değerlendirmesi yapılmıştır.

Bağımsız koşullarda elde edilen en iyi emisyon değeri 1335.02 kg/m, ortalama emisyon değeri 1337.19 kg/m, en kötü emisyon değeri 1380.22 kg/m ve bunların standart sapması 9.50 kg/m olarak elde edilmiştir. Maliyet optimizasyonu için başarımları oranı %100, CO₂ emisyonu optimizasyonu için başarımları oranı ise %94'dür. Diğer bir deyişle maliyet optimizasyonunda gerçekleştirilen bağımsız koşulların 100'ünde de global minimuma ulaşılmış, CO₂ emisyonu optimizasyonunda ise bağımsız koşulların 94'ünde global minimuma ulaşılmıştır. Algoritmanın maliyet optimizasyonu için global minimuma ulaştığı amaç fonksiyonu sayılarının en iyi değeri 20800, ortalama değeri 39412, en kötü değeri 86160 ve standart sapması 10894'dür. CO₂ emisyonu optimizasyonunda ise en iyi değeri 23520, ortalama değeri 51328, en kötü değeri 240080 ve standart sapması 48968'dir. Bu durum da maliyet optimizasyonunda yakınsamanın CO₂ emisyonu optimizasyonuna göre daha hızlı olduğunu göstermektedir. Optimizasyon sonucu ulaşılan minimum maliyet ve minimum CO₂ emisyonu için elde edilen tasarım değişkenleri aşağıdaki Çizelge 4'de verilmektedir.

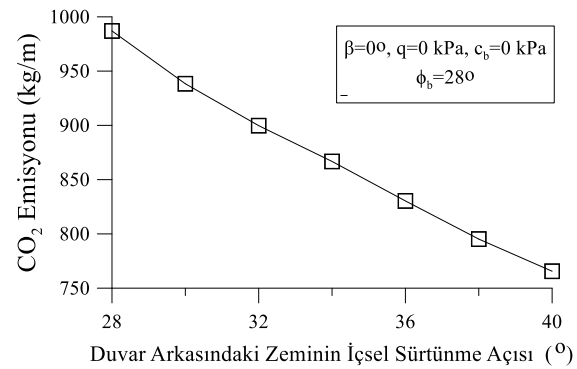
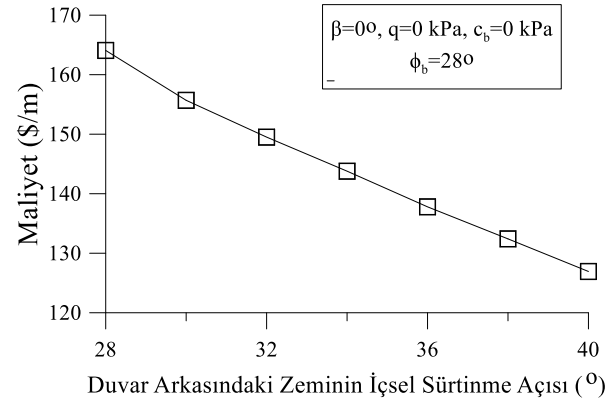
Çizelge 4. Elde edilen optimum tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables)

Tasarım değişkeni	Maliyet optimizasyonu	CO ₂ emisyonu optimizasyonu
	Birim	Birim
X1	3.75 m	3.75 m
X2	0.65 m	0.65 m
X3	0.50 m	0.50 m
X4	0.25 m	0.25 m

Çizelge 5. Farklı içsel sürtünme açıları için maliyet optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from cost optimization for different internal friction angles)

ϕ	Maliyet Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
28	2.53	0.65	0.41	0.25	0.40	2.08	0.20	0.49	19Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.43	0.65	0.4	0.25	0.40	2.03	0.20	0.41	18Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
32	2.33	0.65	0.36	0.25	0.40	2.12	0.20	0.33	19Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
34	2.24	0.65	0.37	0.25	0.40	1.99	0.20	0.26	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
36	2.16	0.65	0.36	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
38	2.16	0.65	0.37	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	14Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
40	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10

X5	0.40 m	0.40 m
X6	2.29 m	2.18 m
X7	0.20 m	0.20 m
X8	0.50 m	0.50 m
X9	16Ø14	22Ø12
X10	15Ø10	15Ø10
X11	25Ø12	25Ø12
X12	6Ø10	6Ø10
Toplam maliyet / CO ₂ emisyonu	216.2519 \$/m	1335.02 kg/m



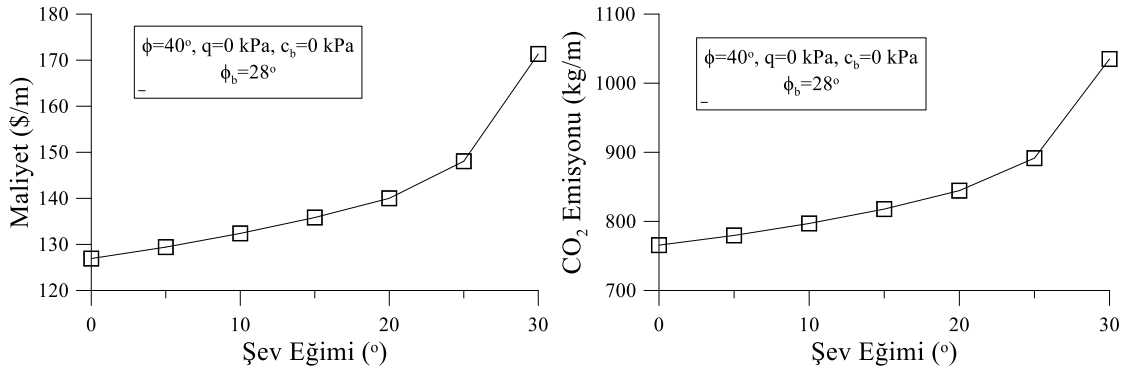
Şekil 3. Optimum maliyet ve emisyon değerlerinin duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısıyla değişimi (Variation of optimal cost and emission values in terms of internal friction angle of soil behind of the wall)

Çizelge 6. Farklı içsel sürtünme açıları için CO₂ emisyonu optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from CO₂ emission cost optimization for different internal friction angles)

ϕ	CO ₂ Emisyonu Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
28	2.52	0.65	0.44	0.25	0.40	2.28	0.20	0.50	12Ø12	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.43	0.65	0.40	0.25	0.40	1.97	0.20	0.41	18Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
32	2.33	0.65	0.41	0.25	0.40	2.00	0.20	0.34	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
34	2.24	0.65	0.37	0.25	0.40	1.96	0.20	0.26	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
36	2.16	0.65	0.36	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
38	2.16	0.65	0.37	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	14Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
40	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10

Duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısının optimum tasarıma etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit kalmak üzere içsel sürtünme açısı 30°, 32°, 34°, 36°, 38° ve 40° alınarak optimum tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımlarda elde edilen optimum maliyet ve emisyon değerlerinin duvar

Şekil 3'den istinat duvarının arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısının artmasıyla, maliyetin ve CO₂ emisyon değerinin azaldığı görülmektedir. Çizelge 5 ve 6'dan farklı içsel sürtünme açısı değerleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, içsel sürtünme açısı arttıkça temel genişliğinin (X1), duvar gövdesinin

**Şekil 4.** Optimum maliyet ve emisyon değerlerinin şev açısıyla değişimi (Variation of optimal cost and emission values in terms of backfill slope)**Çizelge 7.** Farklı şev açıları için maliyet optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from cost optimization for different backfill slopes)

β	Maliyet Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
0	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
5	2.16	0.72	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
10	2.16	0.69	0.35	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
15	2.16	0.99	0.36	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
20	2.16	0.89	0.39	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
25	2.16	1.16	0.40	0.25	0.40	1.96	0.20	0.36	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.16	1.12	0.41	0.25	0.40	1.96	0.20	0.44	18Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10

arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısıyla değişimi Şekil 3'de görülmektedir. Bununla birlikte farklı içsel sürtünme açıları için maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonlarından elde edilen optimum tasarım değişkenleri sırasıyla Çizelge 5 ve Çizelge 6'da görülmektedir.

temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), anahtar kesitin derinliğinin (X8) ve gövde donatısı miktarının (X9) azalma eğiliminde olduğu, anahtar kesitin yerinin (X6) de buruna doğru kaydığı görülmektedir

Çizelge 8. Farklı şev açıları için CO₂ emisyonu optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from CO₂ emission cost optimization for different backfill slopes)

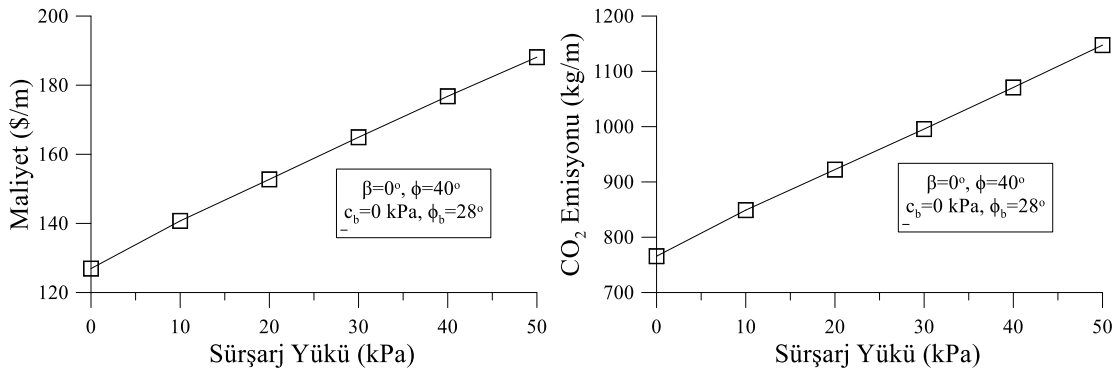
β	CO ₂ Emisyonu Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
0	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
5	2.16	0.65	0.35	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
10	2.16	0.84	0.38	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	14Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
15	2.16	0.71	0.39	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
20	2.16	0.89	0.39	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
25	2.16	1.04	0.41	0.25	0.40	1.96	0.20	0.32	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.16	1.08	0.43	0.25	0.40	1.96	0.20	0.43	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10

Şev açısının optimum tasarıma etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit kalmak üzere şev açısı 5°, 10°, 15°, 20°, 25° ve 30° alınarak optimum tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımlarda elde edilen optimum maliyet ve emisyon değerlerinin şev açısıyla değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Bununla birlikte farklı şev açıları için maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonlarından elde edilen optimum tasarım değişkenleri sırasıyla Çizelge 7 ve Çizelge 8'de görülmektedir.

Şekil 4'den istinat duvarının arkasındaki şev açısının artmasıyla, maliyetin ve CO₂ emisyon değerinin arttığı görülmektedir. Çizelge 7 ve 8'den farklı şev açısı değerleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, şev açısı arttıkça burun plağının

uzunluğunun (X2), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitinin genişliğinin (X3), ve gövde donatısı miktarının (X9) artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca şev açısının 20°'nin üzerine çıktığı durumda anahtar kesit derinliğinin (X8) de arttığı görülmektedir.

Şürşarj yükün optimum tasarıma etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit kalmak üzere şürşarj yük 0, 10, 20, 40 ve 50 kPa alınarak optimum tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımlarda elde edilen optimum maliyet ve emisyon değerlerinin şürşarj yük ile değişimi Şekil 5'de görülmektedir. Bununla birlikte farklı şürşarj yükleri için maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonlarından elde edilen optimum tasarım değişkenleri sırasıyla Çizelge 9 ve Çizelge 10'da görülmektedir.

**Şekil 5.** Optimum maliyet ve emisyon değerlerinin şürşarj yüküyle değişimi (Variation of optimal cost and emission values in terms of surcharge load)**Çizelge 9.** Farklı şürşarj yükleri için maliyet optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from cost optimization for different surcharge loads)

q	Maliyet Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
0	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
10	2.16	0.65	0.38	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
20	2.30	0.65	0.42	0.25	0.40	2.08	0.20	0.23	19Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.42	0.65	0.47	0.25	0.40	2.18	0.20	0.33	20Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
40	2.51	0.68	0.50	0.25	0.40	2.00	0.20	0.45	22Ø10	15Ø10	17Ø10	6Ø10
50	2.60	0.65	0.49	0.25	0.44	2.37	0.20	0.46	26Ø10	17Ø10	20Ø10	6Ø10

Çizelge 10. Farklı sürşarj yükleri için CO₂ emisyonu optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from CO₂ emission cost optimization for different surcharge loads)

q	CO ₂ Emisyonu Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
0	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
10	2.16	0.65	0.38	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
20	2.30	0.65	0.42	0.25	0.40	2.05	0.20	0.23	19Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.42	0.65	0.47	0.25	0.40	2.00	0.20	0.33	20Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
40	2.51	0.65	0.50	0.25	0.40	2.02	0.20	0.43	22Ø10	15Ø10	18Ø10	6Ø10
50	2.60	0.66	0.49	0.25	0.44	2.40	0.20	0.47	26Ø10	17Ø10	19Ø10	6Ø10

Şekil 5'den istinat duvarının arkasındaki sürşarj yükünün artmasıyla, maliyetin ve CO₂ emisyon değerinin arttığı görülmektedir. Çizelge 9 ve 10'dan farklı sürşarj yükleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, sürşarj yükü arttıkça; temel genişliğinin (X1), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), anahtar kesit derinliğinin (X8) ve gövde donatısı miktarının (X9) artma eğiliminde olduğu, anahtar kesitin yerinin (X6) de topuğa doğru kaydığı görülmektedir. Ayrıca sürşarj yükünün 30 kPa'nın üzerine çıktığı durumda burun ve topuk kesitlerindeki donatıların (X10 ve X11) da arttığı görülmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada bir sezgisel algoritma olan JAYA algoritması tabanında anahtar kesit bulunan bir betonarme konsol istinat duvarının minimum maliyet yada CO₂ emisyonu ile optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Her iki durumda sayısal uygulamaya konu olan istinat duvarı için optimum kesit ve asal donatılar elde edilmiştir. Böylece bu algoritmanın çalışmaya konu olan tabanında anahtar kesit bulunan istinat duvarlarının optimum tasarımında etkin bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen parametrik çalışmalardan duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısının artmasıyla optimum tasarıma sahip duvarın maliyet ve CO₂ emisyon değerinin azalacağı, şev eğimi ve sürşarj yükünün artmasıyla ise optimum tasarıma sahip duvarın maliyet ve CO₂ emisyon değerinin artacağı görülmektedir. Bununla birlikte farklı içsel sürtünme açısı değerleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, içsel sürtünme açısı arttıkça temel genişliğinin (X1), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), anahtar kesit derinliğinin (X8) ve gövde donatısı miktarının (X9) azalma eğiliminde olduğu, anahtar kesitin yerinin (X6) de buruna doğru kaydığı görülmektedir. Diğer taraftan farklı şev açısı değerleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, şev açısı arttıkça burun plağının uzunluğunun (X2), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), ve gövde donatısı miktarının (X9) artma eğiliminde olduğu görülmekte, şev açısının 20°'nin üzerine çıktığı durumda anahtar kesit derinliğinin (X8) de arttığı görülmektedir. Farklı sürşarj yükleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde ise, sürşarj yükü

arttıkça; temel genişliğinin (X1), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), anahtar kesit derinliğinin (X8) ve gövde donatısı miktarının (X9) artma eğiliminde olduğu, anahtar kesitin yerinin (X6) de topuğa doğru kaydığı görülmekte, sürşarj yükünün 30 kPa'nın üzerine çıktığı durumda burun ve topuk kesitlerindeki donatıların (X10 ve X11) da arttığı görülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FBB-2015-130).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Rana Sh., Islam N., Ahsan R. and Ghani S.N., "Application of Evolutionary Operation to the Minimum Cost Design of Continuous Prestressed Concrete Bridge Structure", *Eng. Struct.*, 46: 38-48, (2013).
- [2] Öztürk H.T., Türkeli E. and Durmuş A., "Optimum Design of RC Shallow Tunnels in Earthquake Zones using Artificial Bee Colony and Genetic Algorithms", *Computers and Concrete*, 17: 435-453, (2016).
- [3] Öztürk H.T., "Optimum Design of RC Cantilever Retaining Wall Using Artificial Bee Colony and Cuckoo Search Algorithms", 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, 1-8, (2016).
- [4] Öztürk H.T., "Optimum Cost Design of RC Columns using Big Bang-Big Crunch Optimization Algorithm", 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, 1-8, (2016).
- [5] Öztürk H.T., "İstinat Duvarlarının Öğrenme ve Öğretme Tabanlı Algoritmaya Optimum Tasarımı", Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, Erzurum, 813-822, (2016).
- [6] Ceranic B., Fryer C. and Baines R.W., "An Application of Simulated Annealing to the Optimum Design of Reinforced Concrete Retaining Structures", *Computers & Structures*, 79(17): 1569-1581, (2001).
- [7] Yepes V., Alcalá J., Perea C. and González-Vidoso F., "A Parametric Study of Optimum Earth-Retaining Walls by Simulated Annealing", *Engineering Structures*, 30(3): 821-830, (2008).
- [8] Kaveh, A. and Behnam A.F., "Charged System Search Algorithm for the Optimum Cost Design of Reinforced

- Concrete Cantilever Retaining Walls”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(3): 563-570, (2013).
- [9] Khajehzadeh M., Taha M.R., El-Shafie A. and Eslami M., “Modified Particle Swarm Optimization for Optimum Design of Spread Footing and Retaining Wall”, *Journal of Zhejiang University-Science A*, 12(6): 415-427, (2011).
- [10] Sivakumar Babu G. L. and Basha B. M., “Optimum Design of Cantilever Retaining Walls Using Target Reliability Approach”, *International Journal of Geomechanics*, 8(4): 240-252, (2008).
- [11] Yepes V., Gonzalez-Vidoso F., Alcalá J. and Villalba P., “CO₂-Optimization Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Based on a VNS-Threshold Acceptance Strategy”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3): 378-386, (2011).
- [12] Saribas A. and Erbatur F., “Optimization and Sensitivity of Retaining Structures”, *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(8): 649-656, (1996).
- [13] Akin A. and Saka M.P., “Optimum Design of Concrete Cantilever Retaining Walls using Harmony Search Algorithm”. 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, Trabzon, (2010).
- [14] Camp C.V. and Akin A., “Design of Retaining Walls Using Big Bang–Big Crunch Optimization”, *Journal of Structural Engineering*, 138(3): 438-448, (2011).
- [15] Gandomi A.H., Kashani A.R., Roke D.A. and Mousavi M., “Optimization of Retaining Wall Design using Recent Swarm Intelligence Techniques”, *Engineering Structures*, 103: 72-84, (2015).
- [16] Kaveh A. and Khayatizad M., “Optimal Design of Cantilever Retaining Walls using Ray Optimization Method”, *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering*, 38(C1+): 261-274, (2014).
- [17] Kayhan A. H. and Demir A., “Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimum Tasarımı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3): 129-135, (2016).
- [18] Aydogdu, I., “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, (2017).
- [19] Rao R., “Jaya: a Simple and New Optimization Algorithm for Solving Constrained and Unconstrained Optimization Problems”, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1): 19-34, (2016).
- [20] Khajehzadeh M., Taha M. R. and Eslami M., “A New Hybrid Firefly Algorithm for Foundation Optimization”, *National Academy Science Letters*, 36(3): 279-288, (2013).
- [21] Saribas A. and Erbatur F., “Optimization and Sensitivity of Retaining Structures”, *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(8): 649-656, (1996).
- [22] ACI 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, (2014).