



Aylin Ece Kayabekir
Gebrail Bekdaş
Sinan Melih Niğdeli
Rasim Temür

Istanbul University, İstanbul-Turkey
ecekayabekir@gmail.com; bekdas@istanbul.edu.tr
melihni@istanbul.edu.tr; temur@istanbul.edu.tr

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.12.1.1A0372>

STATİK VE DİNAMİK YÜKLER ALTINDA İSTİNAT DUVARLARININ OPTİMUM TASARIMI

ÖZ

Bu çalışmada; statik yükler ve deprem yükleri altında konsol bir istinat duvarının optimum betonarme tasarımı, metasezgisel algoritmalarından biri olan Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) algoritmasını kullanan bir metot geliştirilerek yapılmıştır. Optimum tasarım ile istinat duvarının birim uzunluğu için toplam maliyetin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Betonarme tasarım, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) kuralları uygulanarak yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları, TLBO algoritması kullanımı ile optimum kesit boyutları bulunarak daha düşük maliyetli istinat duvarı tasarımı elde edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Optimum Tasarım, Konsol İstinat Duvarı,
Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon,
Betonarme, Dinamik

OPTIMUM DESIGN OF RETAINING WALLS UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS

ABSTRACT

In this study, a method is developed to obtain optimum reinforced concrete cantilever retaining wall design under the static and earthquake loads by using Teaching-Learning Based Optimization (TLBO) algorithm which is one of the metaheuristic algorithms. Minimization of total material cost per unit length including concrete and steel of the retaining wall is aimed in optimum reinforced concrete design. The requirements of the Turkish Earthquake Code (DBYBHY, 2007) are considered for reinforced concrete (RC) design. According to results of the numerical analysis, it is shown that low-cost retaining wall design can be obtained by finding optimum cross-section dimensions using TLBO algorithm.

Keywords: Optimum Design, Cantilever Retaining Wall,
Teaching-Learning Based Optimization,
Reinforced Concrete, Dynamic

How to Cite:

Kayabekir, A.E., Bekdaş, G., Niğdeli, S.M., and 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.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mühendislik tasarım sürecinde tasarımcının öncelikli amacı; yükler altında stabilite, yer değiştirme, kuvvet kapasitesi, vb. değişkenleri göz önüne alarak yeterli dayanımı sağlayan bir tasarım yapmaktır. Tasarımcı, tasarımının yeterli dayanıma sahip olmasının yanında düşük maliyetli olmasını da sağlamalıdır. Bu nedenlerden dolayı mühendislik tasarım süreci, bir optimizasyon süreci olarak tanımlanabilir. Bu süreçte tasarımcılar tarafından Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO), Büyük Patlama Büyük Çöküş Algoritması (BB-BC), Harmoni Arama Algoritması (HS), Ateş Böceği Algoritması (FA), Yarasa Algoritması (BA) gibi metasezgisel algoritmalar kullanabilmektedir. Betonarme istinat duvarlarının optimizasyon uygulamaları 1980'li yıllara dayanmaktadır. Rhomberg ve Street (1981), Alshawi ve diğ. (1988), Keskar ve Adidam (1989), Dembicki ve Chi (1989), Pochtman ve diğ. (1988), Saribaş ve Erbatır (1996), Chau ve Albermani (2003), Sivakumar ve Basha (2008); optimum şekil, yapısal stabilite, eğilme momenti minimizasyonu ve optimum lokasyon için maliyet optimizasyonu yapmışlardır.

Bu çalışmalara ek olarak metasezgisel algoritmalar; Tavlama Benzetimi Algoritması (Ceranic ve diğ., 2001, Yepes ve diğ., 2008), PSO (Ahmadi-Nedushan ve Varae, 2009), HS (Kaveh ve Abadi, 2010), BB-BC (Camp ve Akin, 2011), GA (Kaveh ve diğ., 2013), FA (Sheikholeslami ve diğ., 2014), Yükleme Arama Algoritması (CSS) (Talatahari ve Sheikholeslami, 2014) betonarme istinat duvarlarının statik yüklemeler altında optimum tasarımı için uygulanmıştır. Bu çalışmalardan farklı olarak; Çarpışan Cisimler Optimizasyonu (CBO) ve Demokratik Parçacık Sürü Optimizasyonu (DPSO) (Kaveh ve Soleimani, 2015) kullanan çalışmalarda statik yüklere ek olarak deprem yükleri de dikkate alınarak, optimum betonarme istinat duvarı tasarımı yapılmıştır.

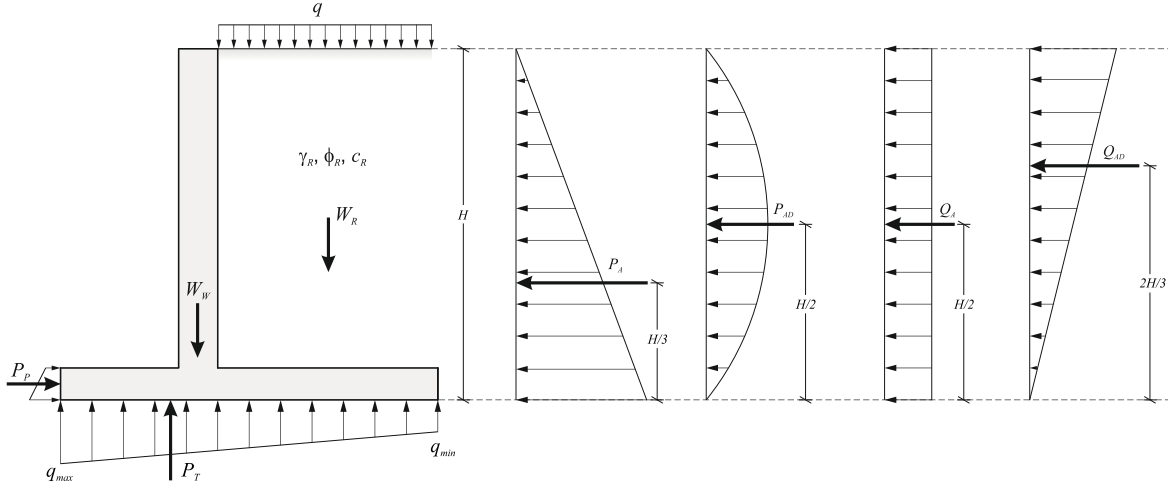
TLBO, statik yükler etkisindeki betonarme istinat duvarlarının optimum tasarımında (optimum şekil, optimum boyut, optimum tasarım, minimum maliyet) Temür ve Bekdaş (2016) tarafından kullanılmıştır. Mevcut çalışmada; konsol betonarme istinat duvarlarının optimum tasarımı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) gereğince hem statik hem de deprem yüklerinin etkisi göz önünde bulundurulularak yapılmıştır. Optimizasyonda amaç fonksiyonu istinat duvarının beton (nakliye ve yerleştirilmesi dahil) ile donatı çeliği (nakliye ve işçiliği dahil) maliyetlerinin minimize edilmesi olarak tanımlanmıştır. Tasarım değişkenleri olarak konsol istinat duvarın duvar kalınlığı, taban plağı kalınlığı, ön ve arka ampatman uzunlukları gibi geometrik özellikleri ile betonarme donatı düzeni (donatı çap ve aralıkları) göz önüne alınmıştır. Optimum tasarımın gerçekleştirilmesinde TLBO algoritması kullanılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada açıklanan metod ile statik ve dinamik yükler altındaki betonarme istinat duvarlarının optimum boyut ve donatılandırılması metasezgisel bir algoritma olan öğretim ve öğrenme tabanlı optimizasyon ile yapılmaktadır. Amaç fonksiyonunun toplam malzeme maliyeti olmasıyla mühendisliğin amaçlarından olan ekonomik tasarım gerekli tasarım kısıtlarına göre yapılmaktadır. Bu tür optimizasyon uygulamalarının gelişimi ile mühendislik yapılarının optimum tasarımı ile insanlığa daha büyük fayda sağlayacak ve bu alanda geliştirilecek yöntemlere çeşitlilik getirecektir.

3. İSTİNAT DUVARI TASARIMI (DESIGN OF RETAINING WALLS)

Şekil 1'de bir istinat duvarına etkiyebilecek örnek yükler gösterilmiştir. W_w istinat duvarının ağırlığını; W_T arka ampatman üzerindeki zeminin ağırlığını; q sürşarj yükünü; P_A aktif toprak basıncını, P_{AD} depremlı durumdaki aktif toprak basıncını, P_P pasif toprak basıncını, P_{PD} depremlı durumdaki pasif toprak basıncını, P_T taban kesme kuvvetini, Q_A sürşarj yükünden oluşan aktif toprak basıncını ve Q_{AD} depremlı durumda sürşarj yükünden oluşan aktif toprak basıncını temsil eder.



Şekil 1. Bir konsol istinat duvarına etki edebilecek yükler
(Figure 1. Loads acting on a cantilever retaining wall)

İstinat duvarlarının boyutlandırılması aşamasında; devrilme, kayma ve zemin gerilmesi tahkikleri yapılmaktadır. Devrilme tahkiki için kullanılacak güvenlik katsayısı: SF_0 ile ifade edilebilir;

$$SF_0 = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \quad (1)$$

Denklem 1'de; $\sum M_R$ devrilmeye karşı direnen kuvvetler (duvarın zati ağırlığı, arka ampatman üzerindeki zemin ağırlığı ve sürşarj yükü) sonucu oluşan momentler toplamını, $\sum M_O$ ise sistemin devrilmesine neden olan kuvvetler (duvar arkası aktif toprak basıncı) sonucu oluşan momentler toplamını ifade eder. Pasif toprak basıncı ve sürşarj yükü zamanla ortadan kalkabileceğinden dolayı devrilme tahkikinde genellikle dikkate alınmaz. Bu çalışmada da pasif toprak basıncının duvar stabilitesine olumlu etkisi göz ardı edilmiş ve aktif toprak basıncının hesaplanmasında Rankine teorisi kullanılmıştır. Buna göre:

Aktif toprak basıncı sabiti (k_a),

$$k_a = \cos \beta \cdot \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta}} \quad (2)$$

denklemlerle hesaplanmıştır. Denklem 2'de β dolgu eğimini, θ zeminin içsel sürtünme açısını temsil eder. Kayma güvenlik katsayısı: SF_3 ile ifade edilebilir.

$$SF_S = \frac{\sum F_R}{\sum F_D} \quad (3)$$

Denklem 3'te; $\sum F_R$ kaymaya karşı direnen kuvvetler toplamını, $\sum F_D$ kaymaya neden olan kuvvetler toplamını ifade eder.
Kaymaya direnen kuvvetler toplamı;

$$\sum F_R = \left(\sum W_{wall} \right) \cdot \tan \left(\frac{2 \cdot \phi_{base}}{3} \right) + \frac{2 \cdot B \cdot c_{base}}{3} + P_p \quad (4)$$

Kaymaya sebep olan kuvvetler toplamı;

$$\sum F_D = P_a \cdot \cos \beta \quad (5)$$

Denklem 4 ve 5'te; $\sum W_{wall}$ toplam duvar ağırlığını, ϕ_{base} taban zeminin içsel sürtünme açısını, B taban plağı uzunluğunu; c_{base} taban zeminin adezyonunu, P_a ise aktif yükleri temsil eder. Pasif yükler: P_p ile formülize edilebilir.

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{base} \cdot D_1^2 \cdot k_p + 2 \cdot c_{base} \cdot D_1 \cdot \sqrt{k_p} \quad (6)$$

Denklem 6'da; D_1 zeminin derinliğini, γ_{base} zeminin birim hacim ağırlığını temsil eder. Zemin emniyet gerilmesi katsayısı SF_B ile ifade edilebilir;

$$SF_B = \frac{q_u}{q_{max}} \quad (7)$$

Denklem 7'de; q_u zemin emniyet gerilmesini, q_{max} ise tabanda oluşan en büyük zemin gerilmesini ifade eder. Tekil temel göz önüne alınarak, maksimum ve minimum taban gerilmesi (q_{max} , q_{min}) Denklem 8'deki gibi tanımlanabilir;

$$q_{min,max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B} \right) \quad (8)$$

Denklem 8'de; e eksantrisiteyi, $\sum V$ düşey yükler toplamını temsil eder. Eksantrisite;

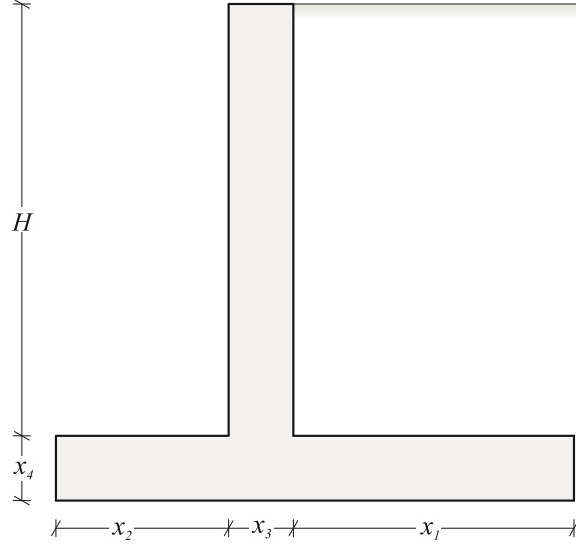
$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_O}{\sum V} \quad (9)$$

denklemlerle hesaplanabilir.

3.1. Tasarım Değişkenleri (Design Variables)

Bu çalışmada ele alınan optimizasyon probleminde, toplamda sekiz adet tasarım değişkeni göz önüne alınmıştır. Bunlar; istinat duvarının geometrisi ile ilgili değişkenler ($X_1 - X_4$) ve betonarme hesap sonucunda

bulunan donatı tasarımı ile ilgili değişkenlerdir ($X_4 - X_8$). Şekil 2'de, istinat duvarının boyutlandırılmasında kullanılan geometrik tasarım değişkenleri görülmektedir. Tasarım değişkenleri Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 2. Bir istinat duvarının geometrik tasarım değişkenleri
(Figure 2. Geometrical design variables of a retaining wall)

Tablo 1. Tasarım değişkenleri
(Table 1. Design variables)

Değişkenler	Açıklama	Tasarım Değişkeni
Geometri ile ilgili Değişkenler	Arka ampatman uzunluğu	X_1
	Ön ampatman uzunluğu	X_2
	Duvar kalınlığı	X_3
	Taban plağı kalınlığı	X_4
Betonarme Tasarım ile ilgili Değişkenler	Duvar (konsol) donatı çapı	X_5
	Duvar (konsol) donatısı aralığı	X_6
	Taban plağı donatı çapı	X_7
	Taban plağı donatı aralığı	X_8

3.2. Tasarım Kısıtları (Design Constraints)

Tasarım süreci iki aşamada ele alınabilir: Güvenlik faktörlerinin göçme modları karşısındaki güvenliği saptanır ve tasarım DBYBHY (2007) uygunluğu kontrol edilir. Tasarım aşamasında kullanılan kısıtlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'deki kısıtların hesaplanmasında DBYBHY (2007) kuralları göz önüne alınmıştır. Analizler sonucu en elverişsiz yükleme koşulunu veren kuvvet değerleri kullanılmıştır. Denklem 11'de yer alan m değişkeni, Tablo 2'de verilen tasarım kısıtlarının sayısını temsil eder. Betonarme tasarım sadece istinat duvarının gövde ve taban plağının kritik kesitleri için yapılmıştır. Tablo 2'de, eğilme momenti, kesme kuvveti, donatı çeliği alanı, iki donatı çeliği arası boşluk sırasıyla; M_u , V_u , A_s ve S ile ifade edilmiştir.



Tablo 2. Tasarım kısıtları
(Table 2. Design constraints)

Açıklama	Sabitler
Devrilme güvenliği	$g_1(X): SF_{O,design} \geq SF_O$
Kayma güvenliği	$g_2(X): SF_{S,design} \geq SF_S$
Zemin gerilmesi	$g_3(X): SF_{B,design} \geq SF_B$
Minimum yatak gerilmesi, q_{min}	$g_4(X): q_{min} \geq 0$
Kritik kesitlerin eğilme dayanımı, M_d	$g_{5-6}(X): M_d \geq M_u$
Kritik kesitlerin kesme dayanımı, V_d	$g_{7-8}(X): V_d \geq V_u$
Kritik kesitlerin minimum donatı alanı, A_{smin}	$g_{9-10}(X): A_s \geq A_{smin}$
Kritik kesitlerin maksimum donatı alanı, A_{smax}	$g_{11-12}(X): A_s \leq A_{smax}$
Kritik kesitlerin maksimum donatı aralığı, S_{max}	$g_{13-14}(X): S \leq S_{max}$
Kritik kesitlerin minimum donatı aralığı, S_{min}	$g_{15-16}(X): S \geq S_{min}$
Minimum paspayı, C_c	$g_{17}(X): C_c \geq 40 \text{ mm}$

3.3. Amaç Fonksiyonu (Objective Function)

Optimizasyonda amaç fonksiyonu, istinat duvarının beton (nakliye ve yerleştirilmesi dahil) ile donatı çeliği (nakliye ve işçilik dahil) maliyetlerinin minimize edilmesi olarak tanımlanır ve matematiksel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$\min f(X) = C_c \cdot V_c + C_s \cdot W_s \quad (10)$$

Denklem 10'da; C_c birim beton maliyetini (TL/m^3), C_s birim donatı maliyetini (TL/ton), V_c birim uzunluktaki beton hacmini, W_s birim uzunluktaki donatı çeliği ağırlığını temsil eder. (W_c ve W_s tasarım değişkenlerine bağlı olarak değişmektedir.)

4. ÖĞRETME-ÖĞRENME TABANLI OPTİMİZASYON (TEACHING-LEARNING BASED OPTIMIZATION)

Öğretmenler; ilgili konu hakkında ileri düzeyde bilgiye sahip, bilgilerini öğrencilere aktarabilme ve öğretebilme yeteneğine sahip insanlardır. Öğretmenlerin temel amacı, öğrencilerin bilgi birikimlerini üst seviyeye taşıyabilmektir. Bunun için öğretmenler tartışma, sorgulama, bilgi paylaşma gibi farklı yollar kullanabilmektedir. Öğretmenlerin niteliği arttıkça, öğrencilerin niteliğinin ve bilgi birikiminin daha iyi olmasını sağlayabilecektir. Sınıftaki öğretmen ve öğrencilerin benzeşiminden Rao ve diğ. (2011) tarafından TLBO algoritması geliştirilmiştir. TLBO süreci; "öğretmen süreci: öğretmenlerin öğrenciler üzerindeki etkisinin benzeşimini yapmak" ve "öğrenci süreci: öğrencilerin kişisel özelliklerinin, kendi niteliklerini arttırmada konusunda benzeşimini yapmak" olmak üzere iki aşamaya ayrılabilir.

4.1. TLBO ile İstinat Duvarlarının Optimum Tasarımı (Optimum Design of Retaining Walls Using TLBO)

İstinat duvarının optimum betonarme tasarımı 5 adım ile özetlenebilir:

- **Adım I:** TLBO algoritmasının ilk adımında; problemin değişkenlerini temsil eden sınıftaki öğrencilerin sayısı ve maksimum iterasyon sayısı (sonlandırma kriteri) olmak üzere iki parametrenin tanımlanması gerekmektedir. Bu nedenle TLBO kolay uygulanabilir bir algoritmadır. Bu aşamada tasarım sabitlerinin değerleri ve tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları belirlenir. Mevcut çalışmada

Tablo 1’de yer alan değişkenler, TLBO algoritmasındaki öğrencileri temsil ederler.

- **Adım II:** Bu adımda; alt ve üst sınır çözüm aralığında (X_i^{min} , X_i^{max}) rastlantısal olarak atanmış tasarım değişkenleri (X_i) ile ana matris (sınıf; CL) oluşturulur. 11 ve 12 numaralı denklemlerde; np öğrenci sayısını, vn çözüm vektörü numarasını ifade eder.

$$X_i^{mean} \leq X_i \leq X_i^{max} \quad i = 1, vn \quad (11)$$

$$CL = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,vn} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,vn} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ X_{pn-1,1} & X_{pn-1,2} & \dots & X_{pn-1,vn} \\ X_{pn,1} & X_{pn,2} & \dots & X_{pn,vn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

CL matrisinin her bir sütunu, istinat duvarı için bir aday tasarımıdır. Söz konusu aday tasarımların toplam maliyetleri (amaç fonksiyonu) hesaplanarak, ilerleyen adımlarda karşılaştırmak üzere bir vektör içinde depolanır (Denklem 13).

$$f(X) = \begin{bmatrix} f(X_1) \\ f(X_2) \\ \cdot \\ \cdot \\ f(X_{pn-1}) \\ f(X_{pn}) \end{bmatrix} \quad (13)$$

- **Adım III:** Bu adım TLBO’nun öğretmen sürecidir. Öğretmenler, sınıf ortamındaki en iyi bilgi birikimine sahip kişilerdir. Bu nedenle de en iyi sonuç (minimum amaç fonksiyonunu veren tasarım değişkeni: $X_{min f(X)}$) öğretmen ($X_{teacher}$) olarak tanımlanacaktır.

$$X_{teacher} = X_{\min f(x)} \quad (14)$$

Daha sonra, öğretmenin bilgi birikimi tüm sınıfın kapasitesini arttırmak için kullanılır. Asıl amaç; sınıfın ortalamasını (X_{mean}) arttırmaktır. Bu nedenle mevcut eski sonuçlar ($X_{old,i}$), Denklem 15’te gösterildiği gibi öğretmen ve sınıf ortalamasına göre yeni aday çözüme ($X_{new,i}$) dönüştürülür.

$$X_{new,i} = X_{old,i} + rand(0, 1) \cdot (X_{teacher} - T_F \cdot X_{mean}) \quad (15)$$

T_F , öğretme faktörünü temsil eder ve Denklem 16’da gösterildiği gibi hesaplanır. Bu değer 1 veya 2 olacak şekilde tam sayılara yuvarlanır.

$$T_F = round [1 + rand(0, 1)] \rightarrow \{1 - 2\} \quad (16)$$

Oluşturulan sonuçlar ile elde edilen amaç fonksiyonu, eski çözümden daha iyi ise, yeni çözüm olarak $X_{new,i}$ kabul edilir.

- **Adım IV:** Bu adım; TLBO algoritmasının öğretmen sürecinden sonraki öğrenci sürecidir. Yukarıda da belirtildiği gibi öğrenme sürecinde öğrencilerin de araştırma, karşılıklı etkileşim gibi önemli rolü vardır. Bu yollar ile öğrenci bilgisini arttırabilir ya da bilgisinde gerileme görülebilir. Bu karşılıklı etkileşim aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$X_{new,i} = \begin{cases} X_{old,i} + r_i \cdot (X_i - X_j); & f(X_i) > f(X_j) \\ X_{old,i} + r_i \cdot (X_i - X_j); & f(X_i) < f(X_j) \end{cases} \quad (17)$$

X_i ve X_j rastlantısal olarak seçilmiş öğrencilerdir. Yeni çözüm daha iyi sonuç verirse (öğrenci bilgisinde ilerleme olursa), yeni çözüm eski çözüm yerine kullanılır.

- **Adım V:** Bu adımda maksimum tekrarlama kriteri kontrol edilirken sonlandırma kriteri tanımlanır. Eğer sonlandırma kriteri sağlanırsa, optimizasyon süreci sonlandırılır, aksi halde **Adım III'**ten optimizasyon sürecine devam edilir.

4.1.1. Matematiksel Örnek (Numerical Example)

Celep (2013) tarafından yapılmış olan, konsol betonarme bir istinat duvarının tasarım örneği; TLBO algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Betonarme tasarım; konsolun üst noktasından itibaren üç eşit parçaya, taban plağı ise arka ampatmanın uç noktasından itibaren iki parçaya bölünerek yapılmıştır. Analiz sonuçlarının karşılaştırması Tablolar 3-5'te verilmiştir. Buna göre, optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen tasarımın daha düşük inşaat maliyetine sahip olduğu görülmüştür. Bölünen parçalar konsolun üst kısmından itibaren sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak, taban plağının arka ampatman ucundan itibaren 4 ve 5 olarak adlandırılmıştır. Bu noktalar tablolarda parantez içinde verilmiş alt indis olarak belirtilmiştir. İkinci derece deprem bölgesinde bulunan istinat duvarının tasarımında kullanılan parametreler; malzeme sınıfı C25/S420, zemin emniyet gerilmesi 250 kN/m^2 , sürtünme katsayısı 0.6, dolgu zemininin içsel sürtünme açısı 30° , dolgunun birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3 ve duvar yüksekliği $H = 5.6 \text{ m}$, sürşarj yükü 10 kN/m^2 olarak tanımlanmıştır. Betonun birim fiyatı 111 TL/m^3 , çeliğin birim fiyatı ise 1400 TL/ton olarak alınmıştır.

Tablo 3. Geometrik boyut karşılaştırması
(Table 3. Comparison of the geometrical dimensions)

Değişkenler	Optimize Edilmiş Değerler (m)	
	1. Çözüm	2. Çözüm
X_1	4.20	3.50
X_2	0.00	0.45
X_3	0.35	0.35
X_4	0.35	0.35

Tablo 4. Betonarme tasarım karşılaştırması
(Table 4. Comparison of the reinforced concrete designs)

	1. Çözüm		2. Çözüm	
	Donatı çapı (mm) / aralığı (mm)	Donatı alanı (mm ²)	Donatı çapı (mm) / aralığı (mm)	Donatı alanı (mm ²)
X ₅₍₁₎ /X ₆₍₁₎	12φ/190	595	12φ/190	595
X ₅₍₂₎ /X ₆₍₂₎	12φ/90	1257	12φ/90	1257
X ₅₍₃₎ /X ₆₍₃₎	28φ/140	4398	28φ/140	4398
X ₇₍₁₎ /X ₈₍₁₎	14φ/70	2199	14φ/100	1539
X ₇₍₂₎ /X ₈₍₂₎	28φ/110	5597	16φ/40	5027

Tablo 5. Toplam maliyet karşılaştırması
(Table 5. Comparison of the total costs)

Maliyet	1. Çözüm	2. Çözüm
Toplam maliyet (TL/m)	732.15	696.26

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada deprem yükleri etkisindeki betonarme konsol istinat duvarlarının TS500 ve DBYBHY (2007) kuralları uyarınca TLBO algoritması kullanılarak optimum tasarımı incelenmiştir. Gerekli güvenlik koşullarını sağlayan en düşük maliyetli tasarımı yapmayı amaçlayan optimizasyon işlemi Celep (2013) tarafından sunulan örnek bir istinat duvarı problemine uygulanmıştır. Celep (2013) tarafından yapılan tasarımda elde edilen inşaat maliyeti, bu çalışmada kullanılan birim maliyetlere göre yaklaşık 804 TL/m olarak hesaplanmıştır. TLBO algoritması kullanılarak elde edilen ve ön ampatmana izin verilen ve izin verilmeyen iki farklı tasarımın maliyeti sırasıyla 696 TL/m ve 732 TL/m olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre Celep (2013) tarafından yapılan tasarımla kıyaslandığında sırasıyla %13 ve %9 oranlarında daha düşük inşaat maliyetleri elde edilebilmektedir. Ekonomik sonuçlar elde etmenin yanı sıra, tasarımın kesit boyutlarının optimum değerlerde seçilmiş olması; kullanılacak malzeme (beton, donatı çeliği) miktarını azaltacaktır. Çimento üretiminin, insan kaynaklı karbondioksit oluşumunun %5-8'inden sorumlu olduğu ve bu açıdan dünyada üçüncü sırada yer aldığı düşünüldüğünde (Harald ve Arne, 2016), kullanılan beton miktarının azaltılması maliyetlerin yanı sıra malzeme üretiminden kaynaklı olumsuz çevresel etkileri de azaltmaktadır.

NOT (NOTE)

Bu çalışma, 1-4 Eylül 2016 tarihleri arasında İstanbul-Büyükdada'da yapılan "International Science Symposium (ISS2016)"da sözlü bildiri olarak sunulduktan sonra genişletilmiş ve yeniden yapılandırılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ahmadi-Nedushan, B. and Varae, H., (2009). Optimal Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Using a Swarm Intelligence Technique. The First International Conference on Soft Computing, UK.
- Alshawi, F.A.N., Mohammed, A.I., and Farid, B.J., (1988). Optimum Design of Tied-Back Retaining Walls. Struct. Eng., Volume:66, Number:6, pp:97-105.



- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar. Ankara, Türkiye.
- Camp, C.V. and Akin, A., (2011). Design of Retaining Walls Using Big Bang-Big Crunch Optimization. Journal of Structural Engineering, Volume:138, Number:3, pp:438-448.
- Celep, Z., (2013). Betonarme Yapılar. Beta Dağıtım, İstanbul, ISBN 975-95405-3-3.
- Ceranic, B., Freyer, C., and Baines, R.W., (2001). An Application of Simulated Annealing to the Optimum Design Reinforced Concrete Retaining Structure. Comput. Struct., Volume:79, pp:1569-1581.
- Chau, K.W. and Albermani, F., (2003). Knowledge-Based System on Optimum Design of liquid Retaining Structures with Genetic Algorithms. J. Struct. Eng., Volume:129, Number:10, pp:1312-1321.
- Dembicki, E. and Chi, T., (1989). System Analysis in Calculation of Cantilever Retaining Walls. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Volume:13, Number:6, pp:599-610.
- Harald, J. ve Arne, H.T., (2016). Sürdürülebilirlik-Beton İnovasyonundaki Öncü Rolü. Hazır Beton Dergisi. Cilt:23, ss:77-82.
- Kaveh, A. and Abadi, A.S.M., (2011). Harmony Search Based Algorithms for the Optimum Cost Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls. Int. J Civil Eng., Volume:9, Number:1, pp:1-8.
- Kaveh, A., Kalateh-Ahani, M., and Fahimi-Farzam, M., (2013). Constructability Optimal Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Using a Multi-Objective Genetic Algorithm. Struct. Eng. Mech., Volume:47, Number:2, pp:227-245.
- Kaveh, A. and Soleimani, N., (2015). CBO and DPSO for Optimum Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls. Asian J Civil Eng, Volume:16, Number:6, pp:751-774.
- Keskar, A.V. and Adidam, S.R., (1989). Minimum Cost Design of a Cantilever Retaining Wall. Indian Concrete J., Volume:63, Number:8, pp:401-405
- Pochtman, Y.M., Zhmuro, O.V., and Landa, M.S., (1988). Design of an Optimal Retaining Wall with Anchorage. Soil Mech. Found. Eng., Volume:25, Number:5, pp:508-510.
- Rao, R.V., Savsani, V.J., and Vakharia, D.P., (2011). Teaching-Learning-Based Optimization: a Novel Method for Constrained Mechanical Design Optimization Problems. Computer-Aided Design, Volume:43, Number:3, pp:303-315.
- Rhomberg, E.J. and Street, W.M., (1981). Optimal Design of Retaining Walls. J. Struct. Div., Volume:107, Number:5, pp:992-1002.
- Saribas, A. and Erbatur, F., (1996). Optimization and Sensitivity of Retaining Structures. J. Geotech. Eng., Volume: 122, Number:8, pp:649-656.
- Sheikholeslami, R., Khalili, B.G., and Zahrai, S.M., (2014). Optimum Cost Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Using Hybrid Firefly Algorithm. International Journal of Engineering and Technology, Volume:6, Number:6, pp:465-470.



-
- Sivakumar Babu, G.L. and Basha, B.M., (2008). Optimum Design of Cantilever Retaining Walls Using Target Reliability Approach. *Int. J. Geomech.*, Volume:8, Number:4, pp:240-252.
 - Talatahari, S. and Sheikholeslami, R., (2014). Optimum Design of Gravity and Reinforced Retaining Walls Using Enhanced Charged System Search Algorithm. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Volume:18, Number:5, pp:1464-1469.
 - Temur, R. and Bekdaş, G., (2016). Teaching Learning-Based Optimization for Design of Cantilever Retaining Walls. *Structural Engineering and Mechanics*, Volume:57, Number:4, pp:763-783.
 - Yepes, V., Alcalá, J., Perea, C., and Gonzalez-Vidoso, F., (2008). A Parametric Study of Optimum Earth-Retaining Walls by Simulated Annealing. *Eng. Struct.*, Volume:30, pp:821-830.