

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK FARKLI ZEMİNLER İÇİN OPTİMUM DAYANMA DUVARI TASARIMIN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF OPTIMUM RETAINING WALL DESIGN FOR DIFFERENT SOILS BY USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM

Esra URAY¹

ÖZET

Bu çalışma, farklı tasarım durumları için betonarme konsol dayanma duvarlarının optimum tasarımlarına odaklanmaktadır. Dayanma duvarı tasarımı, zemin özellikleri ve duvar boyutları gibi farklı duvar tasarım parametrelerine bağlı olduğundan karmaşık bir mühendislik tasarım problemidir. Tüm duvar tasarım kombinasyonlarının kayma, devrilme ve taşıma kapasitesi gibi stabilite koşullarının sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, stabilite kriterleri sınırlayıcılar ile kontrol edilen güvenli ve şev eğimi sıfır olan ve 30 kPa sürşarj yükü bulunan duvar betonarme konsol dayanma duvarlarının maliyet açısından optimum tasarımları parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılarak araştırılmıştır. Meta sezgisel algoritmalarından biri olan parçacık sürü optimizasyon algoritması sürü zekasına dayalı bir algoritmadır. Duvar boyutlarının ve kritik kesitte donatı alanlarının tasarım değişkeni olarak tanımlandığı optimizasyon probleminde duvarın maliyet değeri amaç fonksiyonu olarak alınmıştır. Sonuç olarak, çeşitli duvar yüksekliği ve zemin özellikleri dahil olmak üzere farklı tasarım durumları için optimum duvar tasarımları değerleri incelenmiştir. Böylece farklı tasarım durumlarının oluşturduğu geniş tasarım kümesi dikkate alınarak optimum dayanma duvarı tasarımlarının parçacık sürü optimizasyon algoritması ile daha kısa sürede makul bir şekilde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dayanma duvarı, Optimum tasarımı, Stabilite kriterleri, Parçacık sürü optimizasyon algoritması.

ABSTRACT

This study focuses on optimum designs of reinforcement cantilever retaining walls for different design cases. Since the retaining wall design depends on different wall design parameters such as soil properties and wall dimensions, it is a complex engineering design problem. All wall design combinations must meet stability conditions such as sliding, overturning, and bearing capacity. In this study, cost-optimal designs of safe with zero slope and 30 kPa surcharge load reinforced concrete cantilever retaining walls, whose stability criteria are controlled by constraints, are investigated using a particle swarm

¹ Dr.Öğr.Üyesi, KTO Karatay Üniversitesi, esra.uray@karatay.edu.tr

optimization algorithm. The particle swarm optimization algorithm, one of the metaheuristic algorithms, is an algorithm based on swarm intelligence. In the optimization problem where the wall dimensions and rebar areas in the critical section are defined as design variables, the cost value of the wall is taken as the objective function. As a result, optimum wall designs were investigated for different design cases, including various wall heights and soil properties. Thus, considering the wide design set created by different design situations, optimum retaining wall designs were obtained in a reasonable way in a shorter time with the particle swarm optimization algorithm.

Keywords: Retaining wall, Optimum design, Stability criteria, Particle swarm optimization algorithm.

1. GİRİŞ

Günümüzde, farklı iki zemin seviyesi arasındaki statik ve dinamik yüklerle birlikte yatay zemin basıncına karşı stabiliteyi sağlayan konsol dayanma duvarı tasarımı farklı zemin durumları, duvar yükseklikleri gibi değişen durumların varlığında çok bilinmeyenli karmaşık bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Güvenli konsol dayanma duvarı tasarımı kayma, devrilme, taşıma gücü gibi tahkiklerin seçilen ön duvar boyutları dikkate alınarak gerçekleştirilmesi ile elde edilebilmektedir. Stabilite tahkiklerinin tümü sağlanıncaya kadar duvar boyutları değiştirilerek işlemin tekrarlanması sebebiyle bu süreç deneme-yanılmaya dayalıdır. Geleneksel yöntemlerle güvenli ve stabil tasarımın elde edilmesi çok sayıda ön boyutlandırma yapılarak analizlerin ve kontrollerin sistematik olarak tekrarlanmasını gerektirmektedir (Das, 2016).

Güvenli dayanma duvarı tasarımı elde edildikten sonra göz önünde bulundurulacak bir diğer kriter de ekonomik bir tasarımı elde edebilmektir. Temel genişliği, temel kalınlığı, duvar gövde kalınlığı, ön ve arka ampatman mesafesi gibi duvar boyutlarının farklı değerlerinden oluşan geniş tasarım kümesi dikkate alındığında hangi duvar boyutu kombinasyonun en uygun maliyete sahip olduğunun bulunması zaman ve araştırma maliyetleri açısından uğraştırıcı neredeyse imkansız bir süreçtir. Bu şekilde çok bilinmeyenli karmaşık bir problemin çözümünde sezgisel algoritma tabanlı optimizasyon yöntemlerinin kullanılması en ekonomik güvenli dayanma duvarı tasarımının kısa zamanda elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Sezgisel optimizasyon yöntemleri, genellikle doğadan esinlenen, sürülerin sosyal davranışlarını simüle eden veya bilim yasalarına dayalı olarak, doğanın zor problemlere karşı ürettiği çözümleri kullanarak büyük ölçekli optimizasyon problemlerine çözüm üreten algoritmalar olup kesin çözümü garanti etmese de problemin global çözümünü makul bir sürede yakınsarlar. Sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biri olan parçacık sürü optimizasyon algoritmasının birçok bilinmeyen ve değişken zemin parametrelerinin önemli olduğu şev stabilitesi, temel tasarımı, kaya mekaniği ve zemin mekaniği gibi geoteknik tasarım problemlerinde yaygın olarak kullanıldığı birçok başarılı çalışma literatürde bulunmaktadır (Hajihassani vd., 2018). Afzal vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada betonarme dayanma duvarının literatürde yapılan maliyet ve malzeme optimizasyonu çalışmalarının çokluğuna ve gerekliliğine değinilmiştir.

Bu çalışmada konsol ve dişli konsol dayanma duvarının maliyet açısından optimum tasarımları, parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılarak farklı dolgu ve temel zemin ortamları ve farklı duvar yüksekliklerini kapsayan farklı tasarım durumları için araştırılmıştır. Farklı tasarım durumlarının optimum duvar boyutlarının değişimine etkisi incelenmiştir.

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ ve X_8 duvar boyutları olarak dikkate alınan tasarım değişkenleridir. KDD tasarımında dış eklentisi bulunmaması sebebiyle X_6, X_7 ve X_8 tasarım değişkenlerinin optimum değerleri elde edilmezken DKDD tasarımda verilen tüm duvar boyutu tasarım değişkenlerinin optimum değerleri araştırılmıştır. Dayanma duvar tasarımında ön ampatman, arka ampatman, gövde ve dış birleşimleri kritik kesit olarak alınmış ve bu kesitlerde tasarım kesme ve moment değerlerine göre gerekli optimum donatı alanı belirlenmesi için sırasıyla R_1, R_2, R_3 ve R_4 donatı alan tasarım değişkenleri olarak kullanılmıştır. Belirlenen donatı adet ve çapı değerlerine göre Tablo 1’ de verilen donatı alan tasarım değişkenleri KDD ve DKDD optimum tasarımları için dikkate alınmıştır. Optimum tasarım probleminin tasarım değişkeninin alt ve üst limitlerinin belirlenmesinde literatürde bulunan çalışmalar (Akin ve Saka, 2010; Camp vd., 2012; Gandomi vd., 2016; Kalemci vd., 2020; Uray vd., 2020 ve 2022) ve Yapısal Beton için Bina Kodu Gereksinim Yönetmeliği (ACI 318-08, 2008), LRFD Köprü Tasarım Spesifikasyonları (AASHTO, 2010) ve Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları (TS7994) göz önünde bulundurulmuştur.

Optimum tasarım problemlerinin çözümlerinin araştırılmasında dikkate alınan genel matematiksel formülasyon Eşitlik 1 ile verilmiştir.

Minimize edilecek amaç fonksiyonu: $f(x)$ (1)

Maruz kaldığı sınırlayıcı fonksiyonu: $g(x) \leq 0 \quad i=1,...,n \quad (x^l \leq x \leq x^u)$

Burada, n , probleme ait sınırlayıcı sayısı, x tasarım değişkenlerinin vektörü, x^l ve x^u sırasıyla tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitlerine karşılık gelmektedir (Tablo 1). KDD ve DKDD nin optimum tasarımlarının araştırılmasında amaç fonksiyonu olarak optimum duvar boyutlarına göre belirlenen maliyeti veren matematiksel ifade Eşitlik 2 ile verilmiştir.

$$f_{\min}(\vec{x}) = c_r W_r + c_b V_b \quad (2)$$

Burada, c_r ve c_b sırasıyla 40\$/m³ ve 0.40\$/kg olarak dikkate alınırken W_d ve V_b duvarın 1 m si için elde edilen donatı ağırlığı ve beton hacmine karşılık gelmektedir (Sarıbaş ve Erbatur, 1996). Stabilitate kriterlerini sağlayan güvenli dayanma duvarının elde edilmesi için duvarın kayma, devrilme ve taşıma gücü tahkikleri ve kritik kesitte betonarme tasarım gerçekleştirilmektedir (Uzuner, 2007). Kayma, devrilme ve taşıma gücü güvenlik sayıları geoteknik ve duvarın kritik kesitinde kesme kuvveti ve moment tesirleri betonarme tasarım sınırlayıcıları olarak dikkate alınmıştır. KDD ve DKDD optimum tasarımlarının kayma, devrilme ve taşıma gücü güvenlik sayılarının normalize edilmiş sınırlayıcı matematiksel ifadeleri sırasıyla Eşitlik 3, 4 ve 5’ te verilmiştir (Akin ve Saka, 2010; Camp vd., 2012; Gandomi vd., 2016; Kalemci vd., 2020; Uray vd., 2022).

$$g_1(x) = 1 - \frac{(\sum W_{\text{duvar}} + \sum W_{\text{dolgu}} + Q + \sum P_{ay}) \tan\left(\frac{2}{3} \phi_b\right) + \frac{2}{3} X_1 c_b + \sum P_p}{F_{sk} \sum P_{ax}} \quad (3)$$

$$g_2(x) = 1 - \frac{\sum W_i x_i + \sum P_{ay} x_{Pay}}{F_{sd} \sum P_{ax} x_{Pax}} \quad (4)$$

$$g_3(x) = 1 - \frac{q_a}{F_{st} q_{max}} \quad (5)$$

Ayrıca temel zemininde çekme gerilmelerinin oluşmaması için gerekli kontrol sınırlayıcısı Eşitlik 6 ile verilmiştir.

$$g_4(x) = -q_{\min} \quad (6)$$

Eşitliklerde verilen güvenlik sayıları $F_{sk}=1.50$, $F_{sd}=1.50$ ve $F_{st}=3.0$ olarak dikkate alınmış ve optimizasyon analizlerinde sınırlayıcı ihlali bu kabule göre gerçekleştirilmiştir. Eşitliklerde verilen W_{duvar} ve W_{dolgu} toplam duvar ağırlığı ve duvar arka dolgu ağırlığına karşılık gelmektedir. Aktif ve pasif zemin basınç katsayıları Rankine Teorisine (1857) göre belirlenmiş olup aktif ve pasif zemin kuvvetleri Şekil 1' de verilen yüklere göre belirlenmiştir. x_i , x_{pax} ve x_{pay} değerleri dayanma duvarı burun noktasına göre sırasıyla duvar ve dolgu ağırlıkları, aktif zemin basınç kuvvetinin yatay ve düşey bileşenlerinin moment kolu mesafeleridir. Dayanma duvarı temel zeminin taşıma gücü değeri, Meyerhof Teorisine (1963) göre belirlenmiştir.

KDD ve DKDD nin betonarme tasarımlarının belirlenmesinde duvar gövdesi-temel plağı (g), ön ampatman-gövde (f), arka ampatman-gövde (b) ve dış-temel plağı (k) birleşim kesiti olmak üzere dört kritik kesit dikkate alınmıştır. Betonarme tasarımda duvara etki eden yüklere göre kritik kesitlerde belirlenen tasarım kesme kuvveti ve moment değerlerinin nominal kesme kuvveti ve nominal eğilme momenti değerlerinden büyük olmaması gerekmektedir. Optimizasyon analizlerinde kullanılan iç stabilite kontrolleri moment için Eşitlik 7 ve kesme kuvveti için Eşitlik 8 ile verilmiştir (Akın ve Saka, 2010; Gandomi vd., 2016; Kalemci vd., 2020).

$$g_{[5-8]}(x) = \frac{Md_{(g,f,b,k)}}{Mn_{(g,f,b,k)}} - 1 \quad (7)$$

$$g_{[9-12]}(x) = \frac{Vd_{(g,f,b,k)}}{Vn_{(g,f,b,k)}} - 1 \quad (8)$$

Dayanma duvarının kritik kesitlerinin her birisi için betonarme tasarımında dikkate alınan bir diğer kontrol seçilen donatı alanının minimum donatı alanından büyük maksimum donatı alanından küçük olması durumudur (Eşitlik 9 ve 10).

$$g_{[13-16]}(x) = \frac{As_{\min(g,f,b,k)}}{As_{(g,f,b,k)}} - 1 \quad (9)$$

$$g_{[17-20]}(x) = \frac{As_{(g,f,b,k)}}{As_{\max(g,f,b,k)}} - 1 \quad (10)$$

KDD ve DKDD tasarımlarında elde edilen optimum donatı alanına sahip donatının kesite yerleştirilmesinde düz veya kanca kenetlenme uzunluk değerleri gövde, ön ampatman, arka ampatman ve dış kritik kesitleri için sırasıyla Eşitlik 11, 12, 13 ve 14' te verilen sınırlayıcıları sağlaması gerekmektedir. Kontrollerde pas payı 7 cm alınmıştır.

$$g_{21}(x) = \left(\frac{Ld_g}{X_5 - c_c} - 1 \right) \text{ veya } \left(\frac{Ldh_g}{X_5 - c_c} - 1 \right) \quad (11)$$

$$g_{22}(x) = \left(\frac{Ld_f}{X_1 - X_2 - c_c} - 1 \right) \text{veya} \left(\frac{12db_f}{X_5 - c_c} - 1 \right) \quad (12)$$

$$g_{23}(x) = \left(\frac{Ld_b}{X_2 + X_3 - c_c} - 1 \right) \text{veya} \left(\frac{12db_b}{X_5 - c_c} - 1 \right) \quad (13)$$

$$g_{24}(x) = \left(\frac{Ld_k}{X_5 - c_c} - 1 \right) \text{veya} \left(\frac{Ldh_k}{X_5 - c_c} - 1 \right) \quad (14)$$

Burada L_d ve L_{dh} kritik kesitte seçilen donatı çapına göre sağlaması gereken minimum düz ve kanca kenetlenme boylarına karşılık gelmektedir. Optimum dayanma duvar tasarımının elde edilmesinde kullanılan bir diğer sınırlayıcı tipi duvarın geometrisinden kaynaklanan geometrik sınırlayıcılardır (Eşitlik 15).

$$g_{25}(x) = \frac{X_2 + X_3}{X_1} - 1 \quad (15)$$

$$g_{26}(x) = \frac{X_6 + X_7}{X_1} - 1$$

Dayanma duvarının kritik kesitlerinde yapılan betonarme tasarımda dikkate alınan sınır şartlar ve hesaplamalarda kullanılan formülasyonlar için ACI 318-08 (2008) yönetmeliği kullanılmıştır.

Betonarme konsol dayanma duvarı optimizasyon probleminde sınırlayıcıların ihlali (g(x)>0) Eşitlik 16 ile verilen ceza fonksiyonu kullanılmıştır (Hasançebi vd., 2009 ve 2010).

$$f_p = f_{\min} (1 + C)^\varepsilon$$

$$C = \sum_{i=1}^{nc} c_i \quad (16)$$

$$c_i = \begin{cases} 0 & \text{if } g_i \leq 0 \\ g_i & \text{if } g_i > 0 \end{cases} \quad i = 1, \dots, nc$$

Burada f_p cezalandırılarak güncellenmiş amaç fonksiyonu değerine karşılık gelmektedir. Ceza katsayısı ε değeri 2 olarak alınmıştır.

3. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Koloniler veya sürüler halinde yaşayan balık, kuş, karınca ve arı gibi sosyal canlılar dışarıdan herhangi bir yönlendirme olmadan sezgisel olarak başarılı bir ekip çalışması yürütürler. Bu ekip çalışması içerisinde iletişime ve sürü zekasına bağlı olarak geliştirilen sistem onlara besin bulma, göç etme veya savunma gibi eylemlere imkân vermektedir. Karıncaların besin kaynağına giden birçok yoldan en kısa yolu tespit edebilmeleri, arıların kovan etrafında buldukları besin kaynağına diğer arıları yönlendirmeleri veya birçok sayıda oluşan kuştan oluşan kuş sürüsünün kilometrelerce uzaktaki varış noktalarına ulaşabilmeleri bu canlıların sahip olduğu sürü zekasına ve başarılı iletişimi getiren sosyal yapılarına örnek olarak gösterilebilir. Sürü zekâsı bireysel ve sürüdeki diğer bireylerle

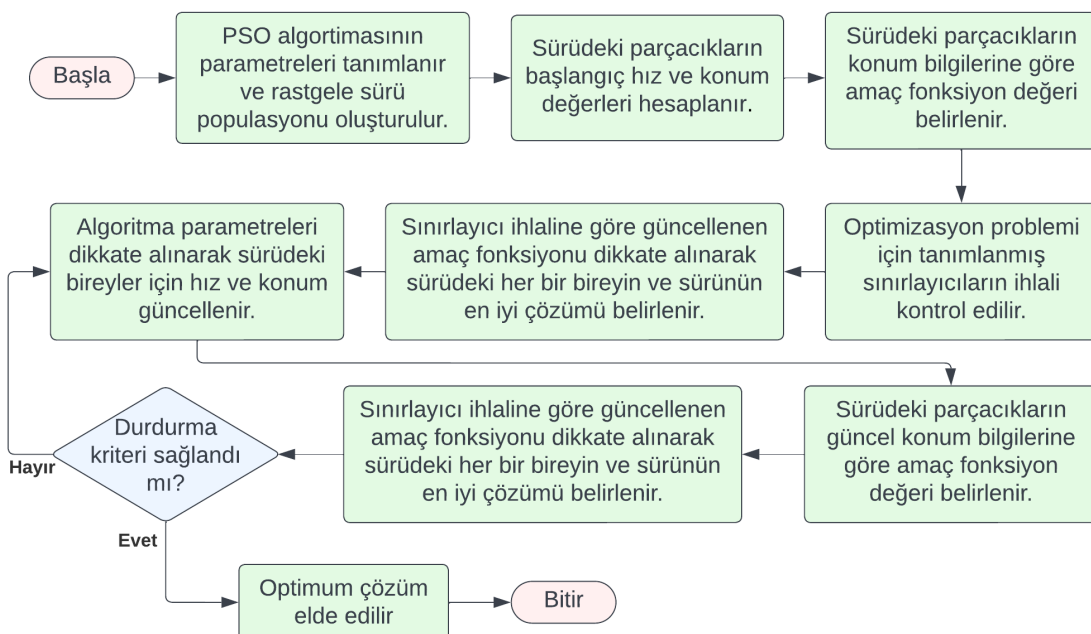
etkileşim ve/veya iletişim ve basit kurallar ile doğal, merkezi olmayan ve kendi kendini organize edebilen bir sistemdir (Zhang vd., 2014). Araştırmacılar tarafından sürü zekasını temelli ve doğadan esinlenen geliştirilen genetik algoritma (GA) (Goldberg ve Kuo, 1987), karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) (Dorigo ve Gambardella, 1997) ve yapay arı kolonisi algoritması (ABC) (Karaboğa, 2005) gibi sezgisel optimizasyon algoritmaları gerçek dünyada karşılaşılan birçok karmaşık mühendislik probleminde başarılı ve güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır.

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilen sürü zekâsı tabanlı sezgisel optimizasyon algoritmalarından biridir. Optimum sonucun araştırılmasında C_1 , C_2 , ω ve nPop PSO algoritma parametreleri ile maksimum iterasyon sayısı algoritmanın işletilmesinde kullanılan parametrelerdir. nPop sayısı kadar bireyin olduğu süredeki her parçacığın pozisyonları rastgele üretilerek ve başlangıç hızları sıfırlanır. Her parçacık için uygunluk (amaç fonksiyonu) değeri hesaplanır ve problemin tanımında bulunan sınırlayıcıların ihlali kontrol edilir. Güncellenen yeni uygunluk değerine göre sürüdeki bireyin ve sürünün en iyi çözümü belirlenir. c_1 , c_2 ve ω dikkate alınarak sürüdeki bireylerin hızları (v_d) ve konumları (x_d) güncellenir (Eşitlik 17).

$$v_{id} = \omega v_{id} + c_1(p_{id} - x_{id}) + c_2(g_{id} - x_{id})$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id}$$
(17)

Güncellen hız ve konum bilgisine göre ve sınırlayıcı ihlali dikkate alınarak uygunluk değeri belirlenir. Algoritma maksimum iterasyon sayısına ulaşma durumu olan durdurma kriteri sağlanıncaya kadar işletilerek her iterasyonda sürüdeki bireylerin kendi en iyi çözümleri ve sürünün en iyi çözümü (optimum) elde edilinceye kadar tekrarlanır. PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. PSO akış diyagramı

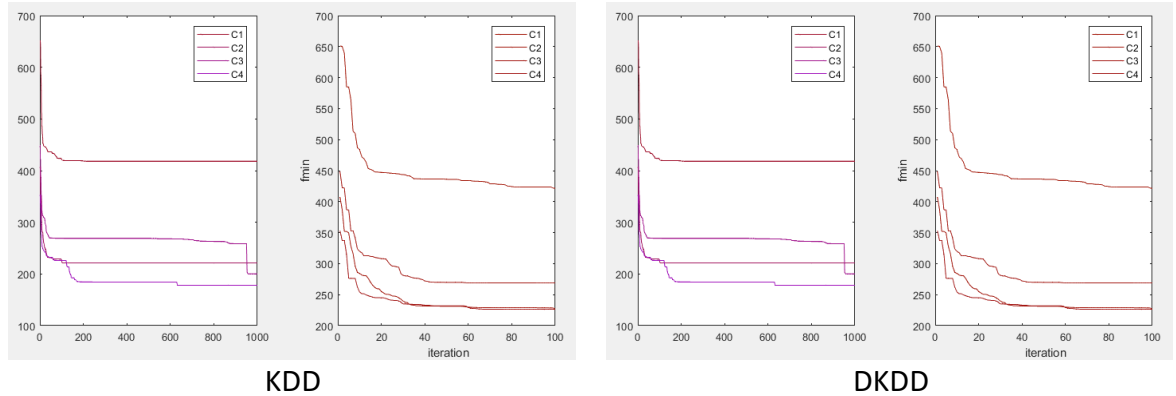
4. OPTİMİZASYON ANALİZLERİ

Betonarme konsol dayanma duvarı (KDD) ve dişli konsol dayanma duvarı (DKDD) optimum tasarımları parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması kullanılarak Tablo 2’ de verilen farklı tasarım durumlarına göre optimizasyon analizleri sonucunda elde edilmiştir. Farklı tasarım durumları için duvar arka dolgu zeminin içsel sürtünme açısı ve temel zemini kohezyonu değişken olarak alınırken diğer zemin parametreleri analizlerde sabit olarak alınmış ve H=4.5m, 6.0m ve 8.0m için optimizasyon analizleri tekrar edilmiştir.

Tablo 2. Tasarım durumlarının zemin ve geometri değerleri

Tasarım Durumu	ϕ_d (°)	ϕ_t (°)	c_t (kPa)	c_d (kPa)	γ_t (kPa)	γ_d (kPa)	γ_b (kPa)	q (kPa)	D (m)	β (°)
C1	25	34	0	0	18.5	17.5	25	30	0.75	0
C2	25	34	50	0	18.5	17.5	25	30	0.75	0
C3	36	34	0	0	18.5	17.5	25	30	0.75	0
C4	36	34	50	0	18.5	17.5	25	30	0.75	0

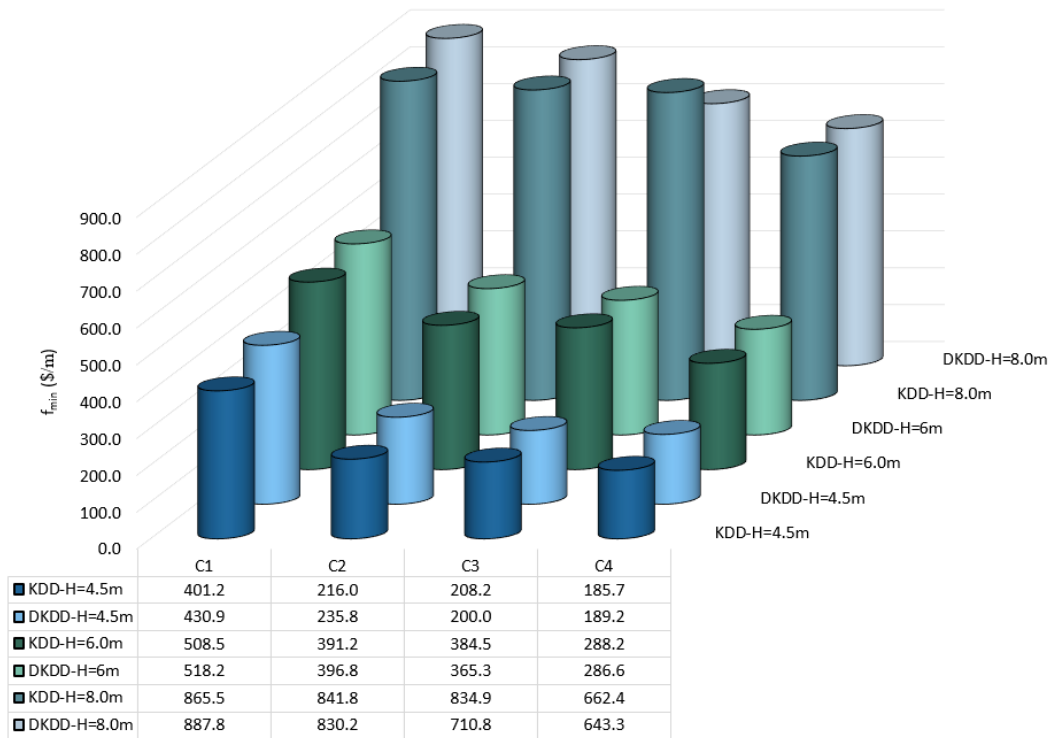
PSO algoritma parametrelerinin belirlenmesinde literatürdeki çalışmalar (Shi ve Eberhart,1998; Kayhan ve Demir, 2016) incelenmiş ve c_1 , c_2 , ω ve nPop değerleri sırasıyla 1.7, 1.7, 0.715 ve 100 olarak alınmıştır. Bu değerler devam eden iterasyonla daha minimum duvar maliyetini edilmediği değerler olup algoritma 1000 iterasyonla birbirinde bağımsız olarak 100 kere işletilmiştir. PSO algoritmasının işletilmesinde Tablo 1’ de verilen tasarım kümesinden seçilen rastgele tasarım değişken değerlerine göre Eşitlik 2 kullanılarak amaç fonksiyon değeri hesaplanmıştır. KDD ve DKDD tasarımlarında verilen sınırlayıcıları sağlamayan çözümlerin amaç fonksiyonları Eşitlik 16 ile verilen ceza fonksiyonu kullanılarak güncellenmiş ve sınırlayıcıları sağlayan ve minimum duvar maliyetini veren optimum duvar tasarımları elde edilmiştir. Şekil 3’ te farklı tasarım durumları ve H=4.5 m için KDD ve DKDD optimizasyon analizlerinin iterasyon f_{min} değerlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 3. Farklı tasarım durumları ve H=4.5 m için iterasyon f_{min} değerleri

Şekil 4’ te tüm tasarım durumları ve H değerleri için optimizasyon analizleri sonucu elde minimum maliyet değerleri verilmiştir. f_{min} değerlerinin farklı tasarım durumları, H ve duvar tipine göre değişimi incelendiğinde duvar gövde yüksekliği artışı ile duvar maliyetinin arttığı görülmektedir. Aynı duvar tipi ve H değeri için C1’ den C4 zemin özelliğine göre gidildikçe maliyetin azaldığı görülmektedir. H=4.5 m için en düşük dayanma duvar tasarımları elde edilirken H=8.0 m için en yüksek dayanma duvar tasarımları elde

edilmiştir. C2, C3 ve C4 tasarım durumunda 8.0m gövde yüksekliğine sahip duvar için dayanma duvarını DKDD olarak yapmanın daha uygun maliyetli olduğu sonucu elde edilmiştir. C1 tasarım durumunda H=4.5m lik duvarı DKDD yerine KDD olarak tasarlamak yaklaşık %7 daha uygun maliyetle olurken artan H değerlerinde her iki duvar tipi arasındaki maliyet farkı daha az değerlere sahip olmaktadır.



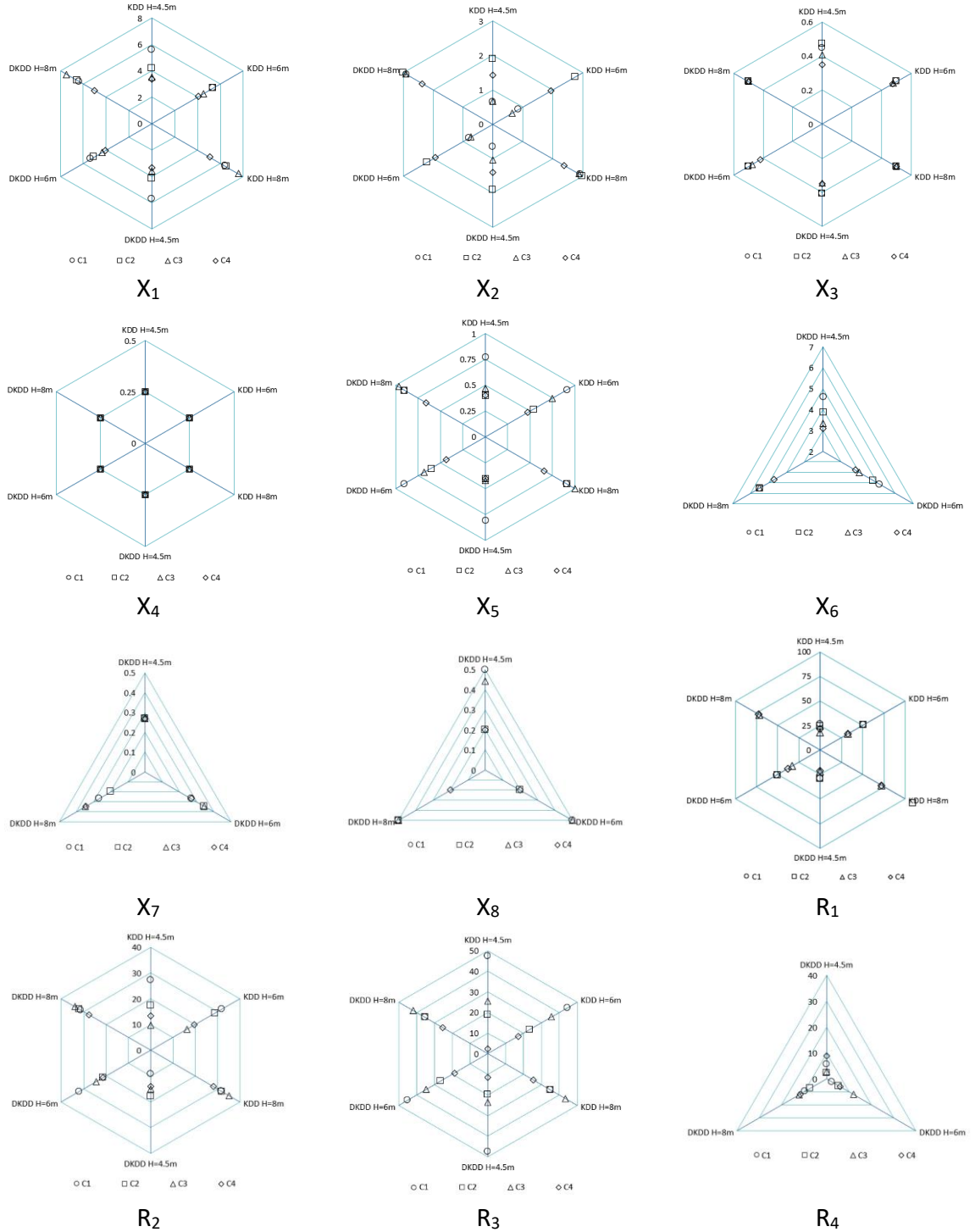
Şekil 4. Farklı tasarım durumları ve H değerleri için optimum duvar maliyetleri

Şekil 5' te farklı tasarım durumları ve H değerleri için optimum duvar boyutları ve donatı alanları verilmiştir. Elde edilen optimum duvar boyutlarının tasarım değişkenlerinin tanımlanan alt ve üst limitleri arasında olduğu görülmüştür. Duvar gövde yüksekliğinin arttığı H=8m durumunda optimum duvar tasarım sınırlayıcılarının tamamının sağlanması için DKDD ve KDD optimum duvar boyutlarının genel olarak diğer H değerlerine göre daha büyük değerlere sahip olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılarak şev eğimi sıfır olan ve 30 kPa sürşarj yükü bulunan kohezyonsuz zemin ortamında duvar betonarme konsol dayanma duvarı ve dişli konsol dayanma duvarının farklı zemin ortamları ve duvar yükseklikleri için maliyet açısından optimum tasarımları araştırılmış ve optimum tasarım problemi için verilen sınırlayıcıları sağlayan güvenli ve stabil tasarımlara kısa zamanda ulaşılmıştır. DKDD için 12 tasarım değişkeni ve 26 sınırlayıcıya ve KDD için 8 tasarım değişkeni ve 20 sınırlayıcıya sahip olan karmaşık optimizasyon problemi olan betonarme konsol dayanma duvarlarının optimum tasarımları değerlendirilmiştir. Farklı temel ve arka dolgu zemin özellikleri ve farklı duvar gövde yüksekliklerini kapsayan farklı tasarım durumları için birçok farklı duvar tasarım değişken kombinasyonu arasından en optimum çözümün elde edilmesini sağlayan sezgisel tabanlı parçacık sürü optimizasyon algoritması

güvenli ve ekonomik çözümlere makul zamanda ulaşmada alternatif ve güçlü bir yöntem olduğu görülmüştür. Ayrıca, birçok parametrenin tasarımın hedef değeri üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda karmaşık mühendislik tasarım problemlerin etkili parametrik değerlendirmenin yapılmasında başarı ve güvenilir bir şekilde kullanılabilir. Farklı zemin özellikleri, tabakalanma durumu, yeraltı suyu varlığı gibi farklı tasarım durumların dikkate alındığı betonarme konsol dayanma duvarlarının sezgisel algoritma tabanlı optimum tasarımları ile kapsam genişletilebilir.



Şekil 5. Farklı tasarım durumları ve H değerleri için optimum duvar boyutları ve donatı alanları

TEŞEKKÜR

Geoteknik alanında optimizasyon çalışmalarına yönlendiren, destekleyen ve her daim bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan çok kıymetli hocam yüksek lisans ve doktora tez danışmanım Prof. Dr. Özcan Tan' ı minnetle anıyorum. Ruhu şad olsun.

KAYNAKLAR

- AASHTO (2010). American Association of State Highway and Transportation Officials LRFD Bridge Design Specifications. 39.
- ACI 318-08 (2008). ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute.
- Akin, A., Saka, M.P. (2010), "Optimum Design of Concrete Cantilever Retaining Walls Using the Harmony Search Algorithm", Civ. -Comp Proc., Vol 93, 1–21.
- Afzal, M.; Liu, Y.; Cheng, J.C.P.; Gan, V.J.L. (2020), "Reinforced Concrete Structural Design Optimization: A Critical Review", J. Clean. Prod., Vol 260, 120623.
- Camp, C.; Akin, A. (2012), "Design of Retaining Walls Using Big Bang–Big Crunch Optimization", J. Struct. Eng., Vol 138, 438–448.
- Das BM (2016), "Principles of Foundation Engineering", Cengage Learning, Eighth Edition.
- Dorigo, M.; Gambardella, L.M. (1997), "Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem", BioSystems, Vol 43, 73–81.
- Gandomi, A.H., Kashani, A.R., Roke, D.A., Mousavi, M. (2016), "Optimization of Retaining Wall Design Using Evolutionary Algorithms", Struct. Multidiscip. Optim., Vol 55, 809–825.
- Goldberg, D.E.; Kuo, C.H. (1987), "Genetic Algorithms in Pipeline Optimization", J. Comput. Civ. Eng., Vol 1, 128–141.
- Hajihassani, M., Jahed Armaghani, D., Kalatehjari, R. (2018), "Applications of Particle Swarm Optimization in Geotechnical Engineering: A Comprehensive Review", Geotech. Geol. Eng., Vol 36, 705–722.
- Hasançebi, O., Çarbaş, S., Doğan, E., Erdal, F., Saka, M.P. (2010), "Comparison of Non-Deterministic Search Techniques in the Optimum Design of Real Size Steel Frames", Computers & Structures, Vol. 88, 1033–1048.
- Hasançebi, O., Çarbaş, S., Doğan, E., Erdal, F., Saka, M.P. (2010), "Performance Evaluation of Metaheuristic Search Techniques in the Optimum Design of Real Size Pin Jointed Structures", Computers & Structures, Vol. 87, 234–302.
- Kalemci, E.N., İkizler, S.B., Dede, T., Angın, Z. (2020), "Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Wall Using Grey Wolf Optimization Algorithm", Structures 2020, Vol 23, 245–253.
- Karaboga, D. (2005), "An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization", Technical Report TR06; Erciyes University: Kayseri, Turkey.
- Kayhan, A. H., Demir, A. (2016), "Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Optimum Tasarımı", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , Vol. 22.3 , 129-135.
- Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). "Particle swarm optimization", In Proceedings of ICNN'95- international conference on neural networks, Vol 4, 1942-1948, IEEE.
- Meyerhof, G. G. (1963), "Some recent research on the bearing capacity of foundations", Canadian Geotechnical Journal, Vol 1(1), 16–26.
- Rankine W (1857), "Earth Pressure Theory", Phil. Trans. of the Royal Soc.
- Sarıbas, A., Erbatur, F. (1996), "Optimization and Sensitivity of Retaining Structures", J. Geotech. Engrg., ASCE, Vol 12(8), 649-656.

- Shi, Y., Eberhart, R.C. (1998), "Parameter selection in particle swarm optimization", In: Porto, V.W., Saravanan, N., Waagen, D., Eiben, A.E. (eds) Evolutionary Programming VII. EP 1998. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1447. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Uray, E., Çarbaş, S., Erkan, İ.H., Tan, Ö. (2019), "Parametric Investigation for Discrete Optimal Design of a Cantilever Retaining Wall", Chall. J. Struct. Mech., Vol 5, 108.
- Uray, E., Çarbaş, S., Erkan, İ.H., Olgun, M. (2020), "Investigation of Optimal Designs for Concrete Cantilever Retaining Walls in Different Soils", Chall. J. Concr. Res. Lett., Vol 11, 39.
- Uray, E., Çarbaş, S. (2021). Swarm Intelligence Based Optimum Design of Deep Excavation Systems. In: Osaba, E., Yang, X.S. (eds.) Applied Optimization and Swarm Intelligence. Springer Tracts in Nature-Inspired Computing. Springer, Singapore.
- Zhang, Y., Agarwal, P., Bhatnagar, V., Balochian, S., Zhang, X. (2014), "Swarm intelligence and its applications", Sci. World J., Vol. 2013.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
A_s	Donatı alanı	n	Donatı adedi
A_{smin}	Minimum donatı alanı	$nPop$	Popülasyondaki birey sayısı
A_{smax}	Maksimum donatı alanı	ω	Atalet ağırlık değeri
β	Dolgu şev eğimi	P_a	Aktif zemin kuvveti
C	Ceza katsayısı	P_p	Pasif zemin kuvveti
C_1	Bireyin kendine güven katsayısı	q	Sürşarj yükü
C_2	Bireyin sürüye güven katsayısı	q_a	Temel zeminin taşıma gücü değeri
c_b	Beton birim maliyet değeri	R_1	Gövde donatı kesiti alanı
c_c	Paspayı	R_2	Ön ampatman kesiti donatı alanı
c_d	Dolgu zemini kohezyon	R_3	Arka ampatman kesiti donatı alanı
c_r	Donatı birim maliyet değeri	R_4	Diş kesiti donatı alanı
c_t	Temel zemini kohezyon	σ_{max}	Maksimum zemin gerilmesi
D	Temel derinliği	σ_{min}	Minimum zemin gerilmesi
d_b	Donatı çapı	V_d	Tasarım kesme kuvveti
f_{min}	Minimum amaç fonksiyon değeri	V_n	Nominal kesme kuvveti
F_{sk}	Kayma güvenlik sayısı sınır değeri	W_1, W_2, W_3, W_6	Duvar ağırlıkları
F_{sd}	Devrilme güvenlik sayısı sınır değeri	W_4, W_5	Duvar arkası dolgu zemin ağırlıkları
F_{st}	Taşıma gücü güvenlik sayısı sınır değeri	X_1	Temel taban genişliği
γ_b	Beton birim hacim ağırlık	X_2	Ön ampatman mesafesi
γ_d	Dolgu zemini birim hacim ağırlık	X_3	Gövde alt genişliği
γ_t	Temel zemini birim hacim ağırlık	X_4	Gövde üst genişliği
H	Duvar gövde yüksekliği	X_5	Temel kalınlığı
L_d	Düz kenetlenme uzunluğu	X_6	Diş mesafesi
L_{dh}	Kanca kenetlenme uzunluğu	X_7	Diş genişliği
M_d	Tasarım momenti	X_8	Diş kalınlığı
M_n	Nominal eğilme momenti		