





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Konsol İstinat Duvarlarında Yükseklik Maliyet İlişkisinin Parçacık Sürü Algoritması İle İncelenmesi

 Soner UZUNDURUKAN^{a,*},  Kemal SAPLIOĞLU^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: soneruzundurukan@sdu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.752589

ÖZET

Mühendislik yapılarının boyutlandırılması ile ilgili problemlerde, optimizasyon algoritmalarının kullanımına olan ilgi, son yıllarda hızlı bir artış göstermektedir. İstinat duvarlarının ekonomik tasarımı bu problem içerisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu çalışmada konsol tipi bir istinat duvarı için farklı yükseklikler ve duvar arkası dolgu zemin özellikleri dikkate alınarak optimum boyutların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 102 farklı senaryo, Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması kullanılarak optimize edilmiş ve sonuçlar grafik halinde sunulmuştur. Çalışmada yükseklik artışının maliyeti arttırdığı, ancak bunun doğrusal olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca topuk kısmının uzunluğunun istinat duvarının yükseklik artışı ile doğrusala yakın bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. İstinat duvarında yaklaşık 7 metre yüksekliğe kadar burun kısmındaki boyut değişimi sabit kalmaktadır. Daha yüksek istinat duvarları için bu boyut hızla artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Boyutlandırma, Konsol İstinat Duvarları, Optimizasyon, Pso

Investigating the Height-Cost Relationship of Cantilever Retaining Walls with Particle Swarm Algorithm

ABSTRACT

The interest of using optimization algorithms in problem of the dimensioning of engineering structures is gradually increasing in recent years. The economic design of the retaining walls is an important part of this problem. In this study, it is tried to obtain optimum design for backfill characteristics and various heights of a cantilever retaining wall. For this purpose, 102 different scenarios have been optimized by using Particle Swarm Optimization algorithm and the results are presented graphically. The cost increases with the increase of height but the relationship is not linear. Furthermore, it is observed that the length of the heel increases with the increase of height of the retaining wall and this relationship is found to be linear. The dimension at the toe remains constant for retaining walls up to 7 meters. For higher retaining walls, this size increases rapidly.

Keywords: Cantilever Retaining Wall, Dimensioning, Optimization, Pso

Geliş: 13/06/2020, Düzeltme: 15/10/2020, Kabul: 21/10/2020

I. GİRİŞ

Dayanma yapıları, doğal yada yapay şevlerin stabilize edilmesi, kazı alanı güvenliğinin sağlanması, erozyonun engellenmesi, vb. nedenlerle kullanılan mühendislik yapılarıdır. Uygulamada bu amaçlarla, istinat duvarları, palplanş perdeleri, diyafram duvarlar, donatılı zemin duvarları gibi farklı dayanma yapıları kullanılmaktadır. Konsol tipi istinat duvarları, inşa tekniğindeki ve kullanılan malzemelerin temin edilmesindeki kolaylıklar nedeniyle yaygın olarak tercih edilen dayanma yapılarından biridir.

Konsol istinat duvarlarının geleneksel tasarımında, mekaniğin denge prensiplerine dayanan stabilite koşullarını sağlayan, bir duvar geometrisi belirlemek için deneme yanılma yaklaşımı kullanılmaktadır. Tasarım sırasında, stabilite koşullarını sağlayan çok sayıda farklı çözüm elde edilebilir ve bu çözümlerin maliyetleri de birbirlerinden önemli ölçüde farklı olabilir. Dolayısıyla bir istinat duvarının ekonomik tasarımı uzun zaman alabilen ve tecrübe gerektiren bir mühendislik problemidir. Bu problemi çözmek ve tasarım sürecini bir ölçüde hızlandırmak amacıyla, geçmiş tecrübelerle bağlı olarak hazırlanmış ön boyutlandırma tabloları kullanılabilir [1]. Bununla birlikte, son yıllarda istinat duvarlarının optimum tasarımında deneme yanılma yaklaşımı yerine, optimizasyon ve yapay zeka algoritmalarının kullanılması giderek artan bir ilgi kazanmış durumdadır. Bu bağlamda, literatürde istinat duvarlarının optimum tasarımında deterministik, sezgisel ve üstsezgisel algoritmaların kullanıldığı çalışmalar yer almaktadır.

Adams [2], çalışmasında istinat duvarı tipinin seçimi için Bulanık Mantıktan yararlanmış ve geliştirdiği yöntemin çok iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir. Sarıbaş ve Erbatur [3] betonarme konsol istinat duvarlarının ağırlığını minimize etmek için penaltı fonksiyonlarından yararlanan doğrusal olmayan programlama metodu geliştirmişlerdir. Jelusic ve Zlender [4] zemin çivili duvar tasarımında güvenlik sayılarının tahmin edilmesi için ANFIS modellerinden faydalanmışlardır. Khajehzadeh ve arkadaşları [5] yüzeysel temeller ve istinat duvarlarının optimizasyonunda penaltı fonksiyonu ile Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması (PSO) geliştirerek, yöntemlerinin performansını araştırmışlardır. Pei ve Xia [6] konsol istinat duvarlarının maliyet minimizasyonunda Genetik Algoritma, Tavlama ve PSO algoritmalarını karşılaştırmışlar ve PSO algoritmasının uygun sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Gandomi ve Kashani [7] sismik yükleme koşullarında istinat duvarlarının optimizasyonu için Diferansiyel Evrim, Evrimsel Strateji ve Biocoğrafya Tabanlı Optimizasyon algoritmalarından faydalanmışlar ve elde ettikleri sonuçları Genetik Algoritma ile kıyaslamışlardır. Temur ve Bekdaş [8] konsol istinat duvarlarının statik ve dinamik tasarımında Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritmasını temel alan bir yöntem geliştirmişlerdir. Yalçın ve arkadaşları [9] geosentetik donatılı zemin duvarların optimum tasarımı için, Genetik Algoritma, PSO, Diferansiyel Evrim, Yapay Arı Kolonisi algoritmalarından elde edilen sonuçları irdelemişlerdir. Kalateh-Ahani ve Sarani [10] konsol tipi istinat duvarlarının performans dayalı tasarımında Elitist Domine edilemeyen Sıralama Algoritması (NSGA-II) kullanmışlardır. Gordan ve ark., [11] istinat duvarının güvenlik faktörlerinin tahmin etmek ve optimize etmek amacıyla Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmalarını kullanmışlardır. Betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımında Armoni arama algoritması [12], Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması [13], Yüklü Sistem Arama algoritması [14] ve PSO algoritması [15] kullanılmış çalışmalar da mevcuttur. Bunların yanısıra literatürde istinat duvarlarının optimum tasarımı için Tavlama [16], Yerçekimsel Arama [17], Karınca Kolonisi [18] algoritmalarının kullanıldığı çalışmalar da yer almaktadır.

Bu çalışmada istinat duvarı 2-10 m arasında değişen yüksekliklerde seçilmiş, geri dolgunun içsel sürtünme açısı 28° - 38° aralığında değiştirilerek, 102 farklı senaryo elde edilmiştir. Farklı duvar yüksekliklerine ve içsel sürtünme açlarına sahip konsol istinat duvarlarının Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması yardımı ile analizi yapılmaya çalışılmıştır. Analizlerde statik yükleme koşulları dikkate alınmış, donatı ve kazı ile ilişkili maliyetlerdeki görecelilik nedeniyle, amaç fonksiyonu olarak hacim minimizasyonu hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak yorumlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

PSO sürü halinde hareket eden kuşların hareketlerinden esinlenerek oluşturulmuştur. Sürü halinde hareket eden bu canlıların amaçları farklı noktalarda konuşlanarak çözüme kolaylıkla ulaşmayı sağlamaktır. Aralarında iletişime geçerek en iyiyi bulmaya çalışırlar. Sürüdeki her bir canlı hem kendi tecrübesinden hemde sürüdeki diğer bireylerin tecrübesinden faydalanırlar. PSO da problemin cinsine göre her bir parçacığa ait pozisyonlar belirlenir (Denklem 1). Daha sonra bu parçacıkların olası hareket durumunda oluşacak hızları (Denklem 2) belirlenir. Tüm parçacıkların sınır değerleri arasında kalan uygunluk (Denklem 3) değerleri hesaplanır. Her iterasyon da yerel en iyi (pbest) değerleri hesaplanır. Ayrıca mevcut değerler içerisinde global en iyi (gbest) tespit edilir. Tüm parçacıkların hızları güncellenir (Denklem 4). Bu işlem sırasında pbest ve gbest değerleri hızın belirlenmesinde etkin rol oynar. Bir önceki parçacık pozisyonu, elde edilen hız ile toplanarak güncelleştirilir (Denklem 5). Bu anda yazılacak kodlarda hızın ve pozisyonun sınırlar dışına çıkmamasını sağlayacak yazılım oluşturulmaya çalışılmalıdır (Şekil 1). Bu şekilde 2. Satırda bulunan ve problemde problemde değişiklik gösteren kısım problem tanıtımında gösterilecektir.

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ V_{m1} & V_{m2} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

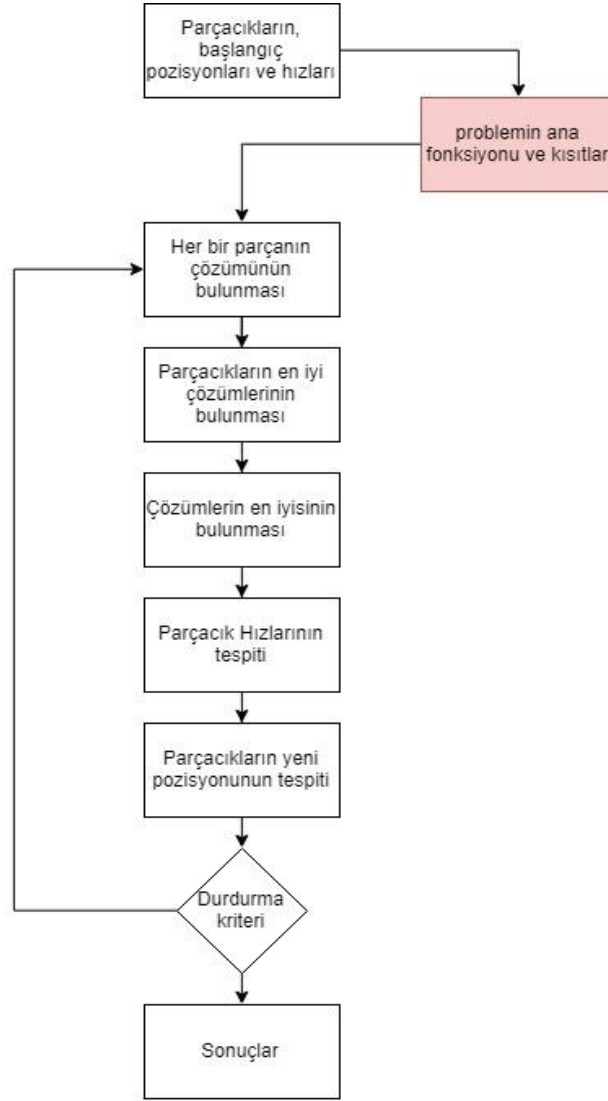
$$\begin{bmatrix} f(1) = f(X_{11}, X_{12} \dots X_{1n}) \\ \vdots \\ f(m) = f(X_{m1}, X_{m2} \dots X_{mn}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$V_{id} = W * V_{id} + c_1 * rand * (pbest_{id} - X_{id}) + c_2 * rand * (gbest - X_{id}) \quad (4)$$

$$X_{id} = X_{id} + V_{id} \quad (5)$$

Burada X_{id} pozisyon, V_{id} hız değeri, W atalet ağırlık değeri, c_1 ve c_2 ölçeklendirme faktörüdür.

W değeri 1 alındığı zaman parçacık hızları aşırı artar ve optimum sonuç bulunma işlemi hız aşımından dolayı zorlaşır. İyi sonuç bulunmuş çalışmaların büyük çoğunluğu 0.2-0.9 arasında değerler alınmıştır. Böylelikle maksimum hız değeri düşürülmüş olur ancak iterasyon sayısı artmış olur. Az parametrelili çok karmaşık olmayan problemlerin çözümünde w değeri yüksek değerler alabilirken, karmaşık yapılarda w daha düşük alınmalıdır [19].



Şekil 1. PSO akış şeması

B. MEVCUT PROBLEMİN TANIMLANMASI

Mevcut problem, çeşitli durumlarda sıklıkla karşılaşılan bir dayanma yapısı olan konsol istinat duvarlarının statik yükleme koşullarında, geoteknik kriterler dikkate alınarak optimum şekilde boyutlandırılmasıdır (Şekil 2). Böyle bir duvarın klasik yöntemle optimum bir şekilde boyutlandırılabilmesi için çok fazla zaman ve denemenin yanı sıra, tecrübeli bir mühendise ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bu problemin çözümü için PSO dan yararlanılmıştır.

Bilgisayar yazılımları kullanan optimizasyon algoritmaları ile, klasik yöntemlerden farklı olarak, çok sayıda deneme oldukça kısa sürede tamamlanabilmekte ve optimum çözüme daha yakın çözümler garanti edilebilmektedir. Optimizasyon yöntemi uygulanırken gerekli olan amaç ve kısıt fonksiyonlarının iyi bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmada incelenen problemde, geri dolgu kuru kum zemin olarak kabul edilmiş, zeminin yeterince geçirgen olduğu ve gerekli drenaj önlemlerinin de alınmış olduğu kabul edilerek duvar arkası su basıncı etkisi hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Geri dolgu zemininin içsel sürtünme açısı 28° ile 38° arasında seçilmiş ve yazılan program ile ilgili mukavemet parametrelerine sahip zeminler için kuru birim hacim ağırlık değerlerinin 1.50 t/m^3 ile 1.70 t/m^3 arasında alınması sağlanmıştır. Taban basıncı tahkikinde kullanılacak zemin taşıma gücü değeri 25

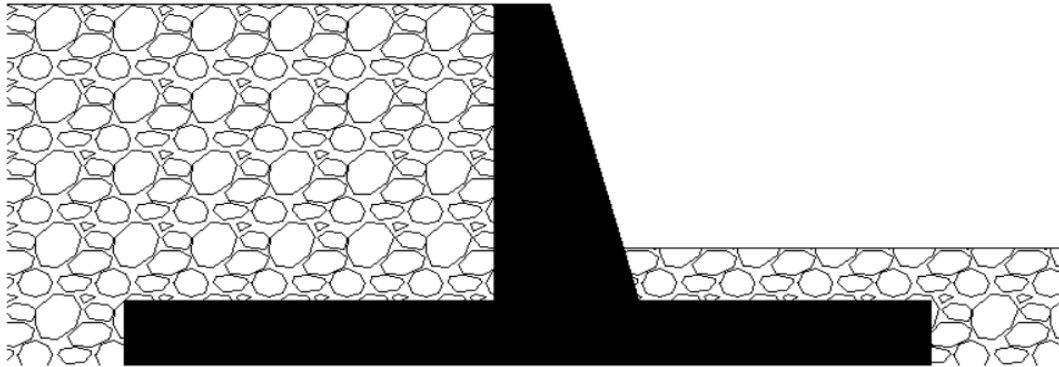
t/m^2 alınmıştır. Ayrıca betonun birim hacim ağırlığı $2.5 t/m^3$ ve duvara etkiyen sürşarj yükü $1 t/m^2$ olarak alınmıştır.

Tablo 1. İstinat duvarına etki eden düşey ve yatay kuvvetler

Kuvvetler	T noktasına göre moment kolu
$W_1 = h_1 L_1 \gamma_b$	$X_{t1} = \frac{L_1}{2} + L_3 + L_4$
$W_2 = \frac{h_2 L_3}{2} \gamma_b$	$X_{t2} = \frac{2}{3} L_3 + L_4$
$W_3 = B \cdot d \gamma_b$	$X_{t3} = \frac{B}{2}$
$W_4 = \frac{h_2^2 L_3}{2 h_1} \gamma_z$	$X_{t4} = \frac{h_2 L_3}{2 h_1} + L_4$
$W_5 = h_2 L_4 \gamma_z$	$X_{t5} = \frac{L_4}{2}$
$W_6 = h_1 L_2 \gamma_z$	$X_{t6} = B - \frac{L_2}{2}$
$W_7 = q L_2$	$X_{t7} = B - \frac{L_2}{2}$
$P_{A1} = h_1 (h_1 + d)$	$Y_{t1} = \frac{h_1 + d}{2}$
$P_{A2} = \frac{K_A \gamma_z (h_1 + d)^2}{2}$	$Y_{t2} = \frac{h_1 + d}{3}$

İstinat duvarı üzerine etki edecek düşey ve yatay kuvvetler, Şekil 3' te görülmektedir. Kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler Tablo 1'de özetlenmiştir. Seçilen problem için minimize edilmeye çalışılacak amaç fonksiyonu olarak duvar hacmi kullanılmıştır (Denklem 13).

Tablo 1'de W_1 ve W_2 istinat duvarının perde ağırlığını, W_3 temel ağırlığını, W_4 ve W_5 duvarın burun kısmı üzerindeki zemin ağırlığını, W_6 duvarın topuk kısmı üzerindeki zemin ağırlığını, W_7 sürşarj yükünün topuk kısmı üzerindeki etkisini göstermektedir. P_{A1} ve P_{A2} sırasıyla sürşarj yükünden ve zeminden kaynaklanan aktif itkilerdir. X_{ti} ve Y_{ti} ler ilgili kuvvetlerin burun noktasına göre moment kollarını ifade etmektedir. B toplam taban genişliği olmak üzere L_1 perde üst kalınlığını, L_2 topuk kısmının genişliğini, $L_1 + L_3$ perde alt kalınlığını ve L_4 burun kısmının genişliğini belirtmek için kullanılmıştır. h_1 topuk üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı, h_2 burun üzerindeki zeminin kalınlığı ($1 m$ alınmıştır) ve d temel kalınlığıdır. K_A aktif toprak basıncı katsayısı, q sürşarj yükü ($1t/m^2$ olarak kabul edilmiştir) γ_z zeminin birim hacim ağırlığı, γ_b betonun birim hacim ağırlığıdır



Şekil 2. İstinat duvarı örneği

Duvar sürtünmesiz kabul edilerek hesaplamalarda Rankine aktif toprak basıncı katsayısı kullanılmıştır (Denklem 6). Duvar ön yüzünde pasif durumun oluşmayabileceği düşünülerek stabilite tahkiklerinde pasif direnç göz ardı edilmiştir.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (6)$$

Burada, K_A , aktif toprak basıncı katsayısı ve ϕ geri dolgunun içsel sürtünme açısıdır.

İstinat duvarlarının geoteknik tasarımında göçme durumunun 4 farklı mekanizmayla gelişebileceği dikkate alınmaktadır. Duvar burun noktası etrafında dönerek, devrilebilir. Tabanı boyunca oluşan sürtünme direncinin aşılması halinde duvar ötelenebilir. İstinat duvarı üzerine etki eden yüklemeler sonucu oluşan temas gerilmeleri, zeminin taşıma gücünü aşabilir. Son olarak, şev dengesinin bozulması sonucu istinat yapısının altından geçen bir kayma düzlemi boyunca göçme meydana gelebilir. Bu nedenle istinat duvarlarının tasarımında devrilme, kayma, taban basıncı ve şev stabilitesi tahkiklerinin yapılması gerekmektedir. Şev stabilitesi tahkiki bu çalışmanın kapsamı dışında tutularak; devrilme, kayma ve taban basıncı kriterleri üzerine odaklanılmıştır. Bu tahkikler yapılırken her bir tehlikeli durum için güvenlik sayılarının belirlenmesi esas alınır. Çalışmada dikkate alınan tahkiklerde kullanılan eşitlilikler aşağıda belirtilmiştir.

Devrilme tahkiki;

$$FS_{\text{devrilme}} = \frac{M_K}{M_D} = \frac{\sum W_i \cdot X_{ti}}{\sum P_{Ai} \cdot Y_{ti}} \quad (7)$$

Burada M_D , duvarı burun noktası etrafında dönmeye zorlayan moment, M_K ise dönmeye karşı direnen momentleri ifade etmektedir. Devrilmeye karşı güvenlik sayısı FS_{devrilme} , için analizlerde 2 değeri kullanılmıştır.

Kayma tahkiki;

$$FS_{\text{kayma}} = \frac{F_K}{F_D} = \frac{(\sum W_i) \tan \delta}{\sum P_{Ai}} \quad (8)$$

Burada F_D istinat duvarının tabanı boyunca kaymaya zorlayan yatay kuvvetleri, F_K ise kaymaya direnen kuvvetleri göstermektedir. Kaymaya direnen kuvvetler istinat duvarı üzerindeki toplam düşey yüklerin bir sürtünme katsayısıyla çarpımından ibarettir, ince daneli zeminler için Denklem 8' in genel formunda ayrıca bir kohezyon terimi de yer almaktadır. δ duvar ve taban zemini arasındaki sürtünme açısını ifade etmektedir. Kaymaya karşı güvenlik sayısı FS_{kayma} için analizlerde 1.5 değeri kullanılmıştır.

Taban basıncı tahkiki;

$$q_{\min} \geq 0 \quad (9)$$

$$q_{\max} \leq q_{\text{emin}} \quad (10)$$

$$q_{\min, \text{maks}} = \frac{\sum W_i}{B} \left(1 \mp \frac{6e}{B} \right) \quad (11)$$

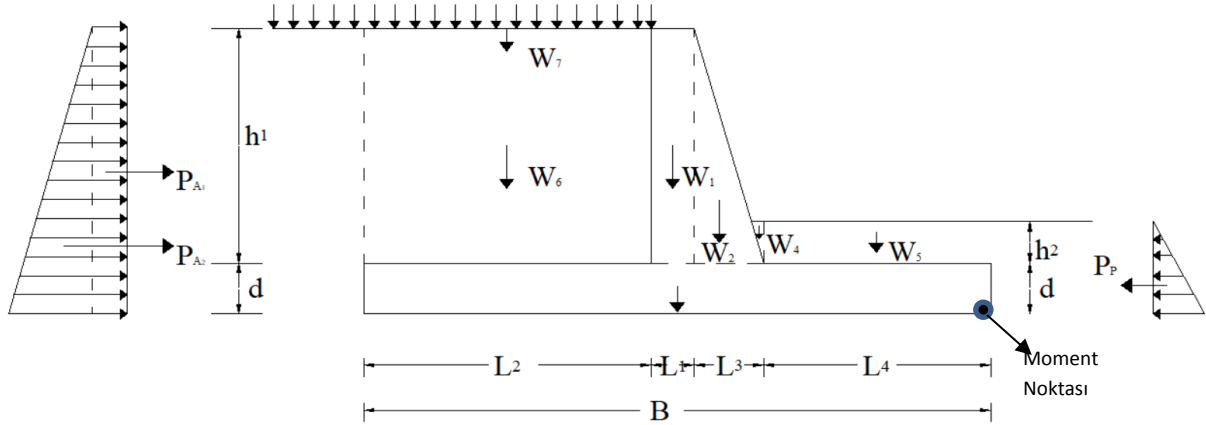
$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_K - M_D}{\sum W_i} \quad (12)$$

Burada, e eksantriste, $q_{\min, \text{maks}}$ ise duvar tabanından zemine aktarılacak en büyük ve en küçük gerilmeleri ifade etmektedir. Taban basıncı tahkikinde duvar tabanında oluşan temas gerilmelerinin en küçük değerinin basınç yönünde olması, en büyük değerinin ise zeminin izin verilebilen (emin) taşıma gücü değerinden (q_{emin}) küçük olması gereklilikleri kontrol edilir.

Bir istinat duvarının maliyeti, zemin kazısı, kazı ve dolgu malzemeleri için nakliye, dolgu imalatı, kalıp, beton, donatı malzemesi, nakliyesi ve işçilik gibi unsurlardan oluşacaktır. Çalışmada, görecelilikten kaynaklanan maliyet unsurları arasındaki karmaşıklığın önüne geçebilmek amacıyla duvar hacminin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Duvar hacmi duvarın bir metre genişliğe sahip ağırlığının beton özgül ağırlığına bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu amaçla kullanılan hacim fonksiyonu Denklem 13'ta sunulmuştur.

$$V = (W_1 + W_2 + W_3)/\gamma_b \quad (13)$$

Burada, istinat duvarı imalatında kullanılan V mevcut beton hacmini ifade etmektedir.



Şekil 3. İstinat duvarına etki eden kuvvetler

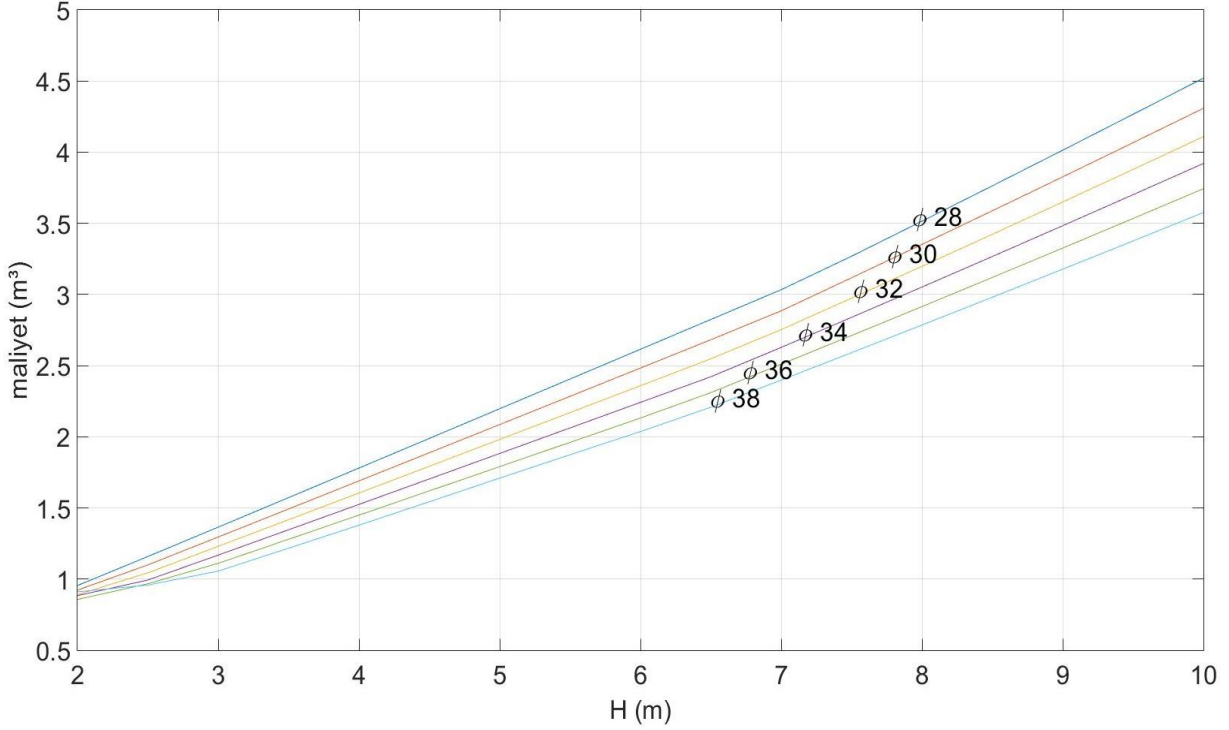
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada statik yükleme koşulları altında, istinat duvarı yüksekliği, kayma açısı ile boyutların ve maliyet üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, 2-10 m aralığında 0.5 m aralıklarla değiştirilen 17 farklı duvar yüksekliği için çözümler yapılmıştır. Geri dolgunun içsel sürtünme açısı için 28⁰-38⁰ aralığında 6 farklı değer kullanılmış ve toplamda 102 adet farklı senaryo optimize edilmiştir. Her bir optimizasyon esnasında 50 adet parçacık oluşturulmuş ve bu parçacıklar 200'er kez çalıştırılmıştır. Yani her bir senaryo için 10000 adet çözüm yapılmış ve elde edilen optimum sonuçlar yardımı ile Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 oluşturularak yorumlanmaya çalışılmıştır.

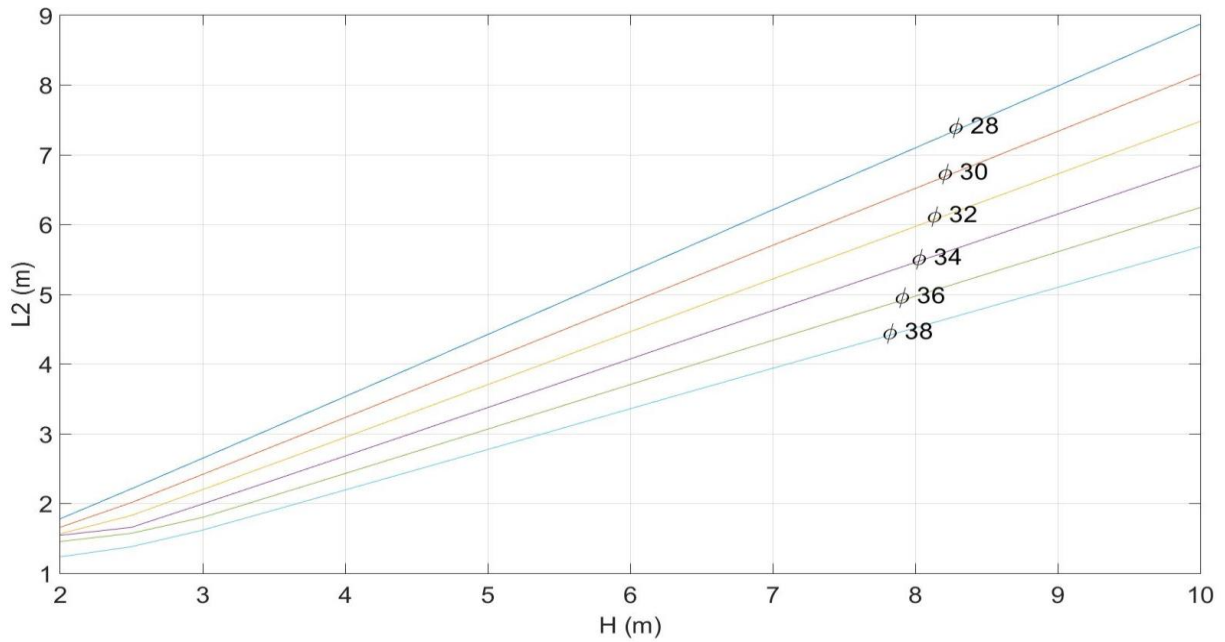
Gerri dolgu içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki grafiksel ilişki Şekil 4'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, beklenildiği gibi, yükseklik arttıkça maliyetin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, geri dolgunun kayma açısındaki azalma duvar maliyetinde artışa neden olmaktadır. Yükseklik-maliyet ilişkisinin doğrusal olmadığı; geri dolgunun kayma açısına bağlı olarak 6-7 metre civarında maliyet ilişkisinin daha da dikleştiği yani maliyet artışının hızlandığı görülmektedir. Ayrıca çalışmada dikkate alınan geri dolgu kayma mukavemetinin alt ve üst sınırları için duvar hacminde %20 civarında bir maliyet farkı bulunduğu ifade edilebilir.

Gerri dolgu kayma mukavemeti açısı, yükseklik ve topuk genişliği (L2) arasındaki ilişki Şekil 5'te sunulmuştur. Şekil irdelendiğinde hacmi minimum seviyede tutabilmek için yükseklik arttıkça L2 boyutunun artması gerektiği gözlemlenmektedir. Ayrıca kayma açısındaki azalışın da L2'yi arttırdığı tespit edilmiştir. L2 boyutun artışı ise maliyetten farklı olarak doğrusala yakın bir artış göstermiştir. Bununla birlikte özellikle geri dolgu kayma mukavemetinin düşük olduğu durumlardaki yüksek duvarlar için topuk genişliği abartılı ve uygulanabilir olmaktan uzak değerlere yükselmektedir.

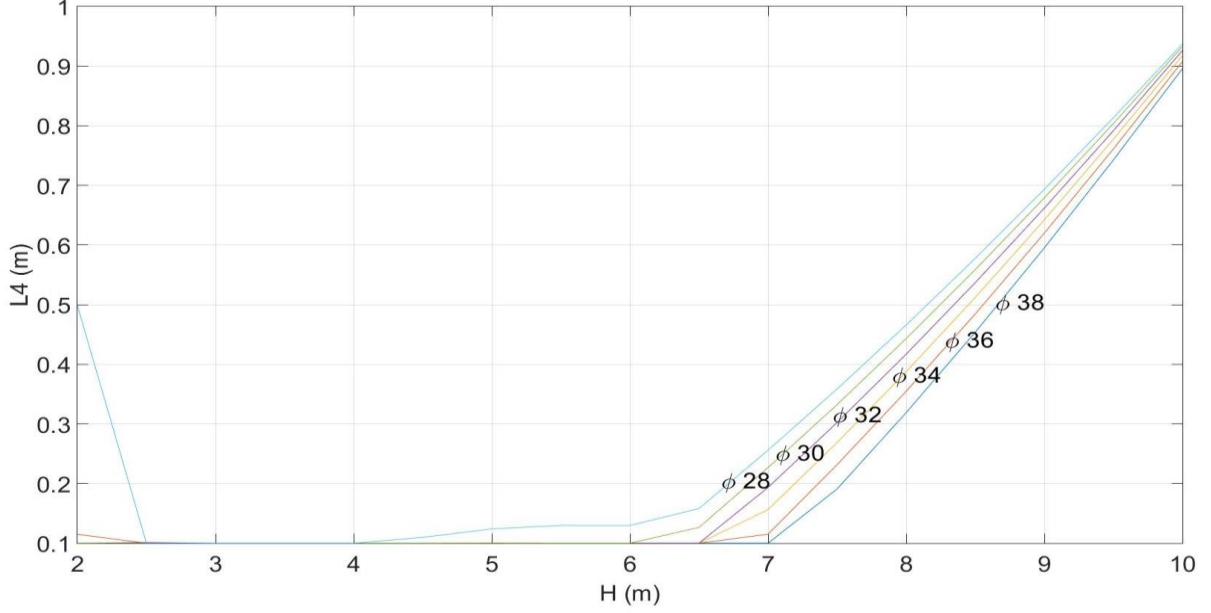
Geri dolgu kayma mukavemeti açısı, yükseklik ve burun genişliği (L4) arasındaki ilişki Şekil 6'da görülmektedir. Şekil incelendiğinde yaklaşık olarak 7 metreden küçük istinat duvarları için L4 boyutu neredeyse sabit kalırken 7 metreden daha yüksek istinat duvarları için L4 boyutu hızla artmaktadır. Ancak burun boyutlarındaki değişim topuk boyutlarındaki değişimle kıyaslandığında yüksekliğe bağlı artış düşük boyutlarda gerçekleşmektedir. Ayrıca geri dolgu mukavemetinin burun genişliği üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı da görülmektedir. Elde edilen grafikler ön projelendirme safhasında, geri dolgu içsel sürtünme açısına bağlı olarak yaklaşık beton maliyetinin yanı sıra duvarın topuk ve burun kısımlarının ön boyutlandırılmasında faydalı olacağı düşünülmektedir.



Şekil 4. İçsel sürtünme açısı, yükseklik, maliyet ilişkisi



Şekil 5. İçsel sürtünme açısı, yükseklik, L2 ilişkisi



Şekil 6. İçsel stürtünme açısı, yükseklik, L4 ilişkisi

IV. SONUC

Özellikle şev ve kazı yüzeylerinin stabilitesinin korunması amacıyla yaygın olarak kullanılan konsol istinat duvarlarının optimum tasarımı son derece önemlidir. Dayanma yapılarının tasarımında güvenlik koşullarını sağlayan birçok farklı geometri, deneme yanılma prosedürü kullanılarak seçilebilmektedir. Geleneksel tasarımda, ön boyutlandırma tabloları kullanılarak seçilmiş başlangıç boyutlarının stabilite tahkiklerini sağlaması genellikle yeterli görülmekte, maliyet konusu gözden kaçabilmektedir. Günümüzde özellikle optimizasyon alanında yapılan çalışmalar bu problemin üstesinden gelinmesinde önemli destek sağlamıştır. Bu çalışmada sezgisel optimizasyon yöntemlerinden olan PSO algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan 102 farklı senaryo üzerinde 50 parçacık ve 200 iterasyon kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile duvar yüksekliği ve geri dolgu kayma mukavemeti açısının, duvar maliyetleri üzerindeki etkisi yorumlanmaya çalışılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, duvar yüksekliğindeki artış, doğal olarak maliyetlerin yükselmesine sebep olmaktadır. Yükseklik-maliyet ilişkisinin doğrusal olmadığı, geri dolgunun özelliklerine de bağlı olarak 6-7 metreden daha yüksek duvarlarda maliyet artışının hızlandığı görülmüştür. Ayrıca çalışmada dikkate alınan durum için, geri dolgu kayma mukavemetinin alt ve üst sınırları arasında duvar maliyetinde %20 civarında bir farklılık bulunduğu gözlenmiştir. Yani geri dolgunun kayma mukavemeti açısındaki her 2 derecelik düşüş, duvar maliyetinde yaklaşık olarak % 3 civarında artışa neden olmaktadır.

Ağırlık ve yarı ağırlık tipindeki rijit istinat duvarları, kendi ağırlıkları ve topuk - burun kısımları üzerindeki dolgu ağırlıkları vasıtasıyla dış kuvvetler etkisi altındaki denge durumlarını koruyamaya çalışırlar.

Yükseklik – topuk genişliği - maliyet ilişkisi incelendiğinde topuk genişliğinin yükseklik ile doğrusal şekilde arttığı görülmektedir. Bu bir önceki paragrafta ifade edilen durumun doğal bir sonucudur. Bununla birlikte, özellikle geri dolgu kayma mukavemetinin düşük olduğu durumlardaki yüksek duvarlar için topuk genişliği abartılı ve uygulanabilir olmaktan uzak değerlere yükselmektedir. Yükseklik – burun genişliği - maliyet ilişkisi incelendiğinde, 6-7 m den daha alçak duvarlar için burun genişliğinin kayda değer bir etkisinin bulunmadığı gözlenmektedir. Daha yüksek duvarlarda geri dolgunun özelliklerine de bağlı olarak, yükseklik arttıkça burun genişliği de doğrusal olarak artmaktadır.

Çalışmada elde edilen grafikler 6-7m yüksekliğe kadar olan konsol istinat duvarlarının ön boyutlandırma aşamasında, geri dolgu kayma mukavemeti açısına bağlı yaklaşık beton maliyetinin belirlenmesinde kullanılabilir. Ancak, yüksek duvarlarda stabilitenin sağlanabilmesi için hem topuk hem de burun genişliklerinin artışına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda mühendis maliyeti oluşturan diğer unsurların (kazı, dolgu, nakliye vb.) maliyet üzerindeki etkisini ve ayrıca duvarın sahada uygulanabilirliğini dikkate alarak boyutlara karar vermelidir.

Geri dolgunun mühendislik özelliklerinin bir istinat duvarının bir taraftan maliyetini diğer taraftan güvenliğini kontrol eden en önemli özelliklerden biri olduğu görülmektedir. Bu nedenle tasarımda kullanılan geri dolgu özelliklerinin, uygulamada gerçekleştirilmesi için malzeme seçimi ve yerleştirilmesi konusunda gerekli özen gösterilmelidir.

V. KAYNAKLAR

- [1] C. R. I. Clayton, R. I. Woods, A. J. Bond and J. Milititsky, "Earth Pressure and Earth-Retaining Structures," 3rd Edition, CRC Press, 2014.
- [2] T. M. Adams, "Retaining Structure Selection with Unequal Fuzzy Project-Level Objectives," *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 2, no. 3, pp. 251-265, 1994.
- [3] A. Saribaş and F. Erbatur, "Optimization and sensitivity of retaining structures," *J. Geotech. Eng.*, vol. 12, no. 8, pp. 649-656, 1996.
- [4] P. Jelušič and B. Žlender, "Soil-nail wall stability analysis using ANFIS," *Acta Geotech. Slov.* vol. 10, pp. 61-73, 2013.
- [5] M. Khajezadeh, M. R. Taha, A. El-Shafie ve M. Eslami, "Modified particle swarm optimization for optimum design of spread footing and retaining wall," *Applied Physics & Engineering*, vol. 12 no. 6, pp. 415-427, 2011.
- [6] Y. Y. Pei Y.Y ve Y. Y. Xia, "Design of Reinforced Cantilever Retaining Walls using Heuristic Optimization Algorithms," *Procedia Earth and Planetary Science*, vol. 5, pp. 32-36, 2012.
- [7] A. H. Gandomi ve A. R. Kashani, "Automating pseudo-static analysis of concrete cantilever retaining wall using evolutionary algorithms," *Measurement*, vol. 115, pp. 104-124, 2018.
- [8] R. Temur and G. Bekdas, "Optimum design of reinforced concrete cantilever retaining walls," *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 24, no. 6, pp. 1043-1050, 2018.
- [9] Y. Yalçın, M. Orhon and O. Pekcan, "An automated approach for the design of Mechanically Stabilized Earth Walls incorporating metaheuristic optimization algorithms," *Applied Soft Computing*, vol. 74, pp. 547-566, 2019.
- [10] M. Kalateh-Ahani and A. Sarani, "Performance-based Optimal Design of Cantilever Retaining Walls," *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, vol. 63, no.2, pp. 660-673, 2019.
- [11] B. Gordan, M. Koopialipoor, A. Clementking, H. Tootoonchi and E. T. Mohamad, "Estimating and optimizing safety factors of retaining wall through neural network and bee colony techniques," *Engineering with Computers*, vol. 35, no. 3, pp. 945-954, 2019.
- [12] A. Kaveh and S. M. A. Abadi, "Harmony search based algorithms for the optimum cost design of reinforced concrete cantilever retaining walls" *International Journal of Civil Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 1-8, 2011.

- [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*, vol. 49, no. 3, pp. 381-400, 2017.
- [14] 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*, vol. 38, no. 3, pp. 563-570, 2013.
- [15] A. H. Kayhan ve A. Demir, "Betonarme konsol istinat duvarlarının parçacık sürü optimizasyonu ile optimum tasarımı," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 22, s. 3, ss. 129-135, 2016.
- [16] V. Yepes, J. Alcala, C. Perea and V. Gonzalez, "A parametric study of optimum earth-retaining walls by simulated annealing," *Engineering Structures*, vol. 30, no. 3, pp. 821-830, 2008.
- [17] M. Khajehzadeh, T. M. Raihan and E. Mahdiyeh, "Efficient gravitational search algorithm for optimum design of retaining walls," *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 45 no. 1, pp. 111-127, 2013.
- [18] M. Ghazavi and B. S. Bazzazian, "Optimization of reinforced concrete retaining walls using ant colony method," *Proc., 3rd Int. Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR)*, Germany.
- [19] H. G. H. Yazd, S. J. Arabshahi, M. Tavousi and A. Alvani, "Optimal Designing of Concrete Gravity Dam using Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO)," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, no. 12, pp. 1-10, 2015.