

HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İLE BETONARME KONSOL DAYANMA DUVARLARININ OPTİMUM TASARIMI

OPTIMUM DESIGN OF CONCRETE CANTILEVER RETAINING WALLS WITH THE HARMONY SEARCH ALGORITHM

Esra URAY¹ Serdar ÇARBAŞ² İ. Hakkı ERKAN³ Özcan TAN⁴

ABSTRACT

Nowadays, math-based deterministic methods have been inadequate in solution of some encountered complex engineering problems. In these cases, metaheuristic optimization methods have been used to gain reliable results in shorter time. Harmony search algorithm is a recently improved metaheuristic optimization method. This algorithm is based on principle of finding the best harmony during music performance. Harmony search algorithm uses random search instead of gradient search. In this algorithm, any initial value for the design variables does not require. In this work, optimum design of reinforced concrete cantilever retaining wall has been carried out by using harmony search algorithm. In the mathematical model of the design problem, base width, toe width, thickness of base slab and angle of wall have been used as design variables. The values of these variables have been selected from predetermined design pool. These values consist of discrete variables, which have lower and upper bounds with a certain amount of increase. Analyses have been conducted according to certain values of wall height, angle of internal friction and weight per unit of volume of backfill. The design constrains are sliding and overturning safety factors and geometric constrains due to wall geometry. In design, minimum weight of wall has been taken as objective function. In analyses, optimum wall dimensions, which are given minimum weight of wall, have been determined for different soil and slope parameter values. In addition, five examples have been presented to demonstrate efficient and productive of the design algorithm.

Keywords: Concrete cantilever retaining wall, optimization, harmony search algorithm.

ÖZET

Günümüzde, karşılaşılan bazı karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde matematik tabanlı deterministik yöntemler yetersiz kalabilmektedir. Bu tür durumlarda daha kısa sürede güvenilir sonuçlara ulaşmak için sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Harmoni arama algoritması, son zamanlarda geliştirilen bir sezgisel

¹ Araştırma Görevlisi, KTO Karatay Üniversitesi, esra.uray@karatay.edu.tr

² Yardımcı Doçent, Karamanoğlu MehmetBey Üniversitesi, scarbas@kmu.edu.tr

³ Yardımcı Doçent, Necmettin Erbakan Üniversitesi, herkan@konya.edu.tr

⁴ Profesör Doktor, Selçuk Üniversitesi, ozcantan@selcuk.edu.tr

optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma, müzik icrası sırasında en iyi harmoniyi bulma prensibine dayanmaktadır. Harmoni arama algoritması, gradyan arama yerine rastgele aramayı kullanır. Yöntemde tasarım değişkenleri için herhangi bir başlangıç değerine ihtiyaç duyulmaz. Bu çalışmada, betonarme konsol dayanma duvarının optimum tasarımı harmoni arama algoritması kullanılarak yapılmıştır. Optimum tasarım probleminin matematik modelinde; temel genişliği, gövdeden çıkma mesafesi, temel plağının kalınlığı ve duvar eğimi tasarım değişkenleri olarak alınmıştır. Bu değişkenlerin değerleri önceden belirlenmiş tasarım havuzundan seçilmiştir. Bu değerler belli bir artım miktarıyla alt ve üst sınırlara sahip ayrık değişkenlerden oluşmaktadır. Analizler, belirli duvar yüksekliği, içsel sürtünme açısı ve dolgu birim hacim ağırlık değerlerine göre yapılmıştır. Tasarım sınırlayıcıları, kayma ve devrilme güvenlik sayıları ile duvarın geometrisinden kaynaklanan geometrik sınırlayıcılarıdır. Tasarımda, amaç fonksiyonu olarak duvarın minimum ağırlığı alınmıştır. Yapılan analizler ile farklı zemin ve şev parametre değerleri için minimum duvar ağırlığını veren optimum duvar boyutları belirlenmiştir. Ayrıca, algoritmanın etkili ve verimli bir algoritma olduğunu gösteren beş adet tasarım örneği verilmiştir.

Anahtar Kelime: Konsol dayanma duvarı, optimizasyon, harmoni arama algoritması.

1. GİRİŞ

Farklı iki zemin seviyesinin stabilite koşullarını sağlayacak şekilde birbirine bağlanması geoteknik mühendisliğinde oldukça sık karşılaşılan problemlerdendir. Uygulamanın yapılacağı bölgede yeterli kazı alanının bulunmaması ya da rıhtım inşaatı gibi düşey bağlantı elemanlarının kullanılması gerektiği durumlarda, iki zemin seviyesinin birbirine şevli olarak bağlanması çözümü geçersiz olmaktadır. Farklı iki seviyedeki zemini statik ya da dinamik yüklerin oluşturduğu yatay zemin basınçlarına karşı dengede tutan yapılar dayanma yapıları olarak tanımlanmaktadır. Dayanma yapılarının tasarımını çok sayıda parametre etkilemektedir. Zeminler arası kot farkı, yeraltı suyu durumu, inşaa alanı, kullanım amacı, maliyet ve alandaki zeminin özellikleri ile tabakalanma durumu dayanma yapısı tasarımını çok bilinmeyenli ve sınırlayıcı bir problem haline getirmektedir. Bu problemin çözümünde, tasarımın gerekli yönetmeliklere uygunluğu ve stabilite koşullarını sağlamasıyla birlikte minimum duvar ağırlığını veren en iyi duvar boyutlarının bulunmasında optimizasyon yöntemleri de kullanılmaktadır.

Mühendislikte optimizasyon; fayda sağlayan sistemi minimum maliyetle imal etmek ya da işletmek veya maksimum kazanç ya da verim elde etmek için gerekli tasarımların oluşturulması olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon yöntemleri genel olarak deterministik ve sezgisel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Matematik tabanlı deterministik yöntemler, problemin çok bilinmeyenli karmaşık yapısı, sonsuz çözüm uzayı ya da iterasyon sayısının fazla olması gibi bazı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu durumlar son zamanlarda etkili bir şekilde kullanılan ve bilimsel çalışmaları yapılan sezgisel yöntemleri ön plana çıkarmıştır. Sezgisel yöntemler, zor problemler karşısında doğanın ürettiği çözümlerden esinlenerek, karmaşık optimizasyon problemlerine çözüm üreten ve kesin çözümü garanti etmemekle birlikte kabul edilebilir zaman diliminde global çözüme yakınsayan algoritmalarıdır.

İlk olarak Geem ve diğ. [1] tarafından yapılan çalışmada müzik geliştirme sırasında en iyi harmoniyi bulma prensibi temeline dayanan harmoni arama algoritmasının teorisi ve bazı örnek optimizasyon uygulamaları verilmiştir. Lee ve diğ. [2-3] tarafından yapılan

çalışmalarda bu optimizasyon algoritmasının birçok mühendislik optimizasyon problemlerinin çözümü için güçlü ve etkili bir teknik olduğu gösterilmiştir. Mahdavi ve diğ. [4] tarafından yapılan çalışmada ise harmoni arama algoritması parametrelerinin sonuç üzerine etkisi araştırılmış ve geliştirilmiş algoritma önerilmiştir. Harmoni arama algoritması, yapısal optimizasyon [5-6-7-8], hidrolik [9-10], araç rotalama [11] ve geoteknik gibi bir çok alanda optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Özellikle geoteknik mühendisliğinde şevlerde kritik kayma yüzeyinin belirlenmesi [12-13-14-15], ekonomik temel tasarımı [16] ve betonarme konsol dayanma duvar maliyet optimizasyonu [17] gibi konularda harmoni arama algoritması ve harmoni arama algoritması ile birlikte kullanılan parçacık sürü algoritması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca konsol dayanma duvarının tasarımı ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve Tan ve diğ. [18] tarafından yapılan çalışmada konsol dayanma duvarlarının tasarımını etkileyen faktörler araştırılmıştır.

Bu çalışmada, sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biri olan ve müzikte en iyi uyumu bulma sürecini temel alan harmoni arama algoritması kullanılarak konsol dayanma duvarının ağırlığı optimize edilmiştir. Konsol dayanma duvarı tasarımında, ön boyutlandırma sürecinde seçilen bu boyutlara göre duvarın stabilite koşullarını sağlaması ve ekonomik olması gerekmektedir. Ön boyutlandırma sürecinde stabilite koşullarını sağlayan ideal boyutların bulunması çok sayıda iterasyon ve zaman gerektirmektedir. Bu yüzden tasarım aşamasında az sayıda iterasyonla kabul edilebilir zaman zarfında analize olanak veren ön tasarım kılavuzuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu optimizasyon probleminde, duvar arka dolgusunun zemin özellikleri etkisinde dayanma duvarının boyutları tasarım değişkeni olarak alınmış ve bir ön tasarım kılavuz çalışması yapılmıştır. Duvarın kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayıları ile duvarın geometrisinden kaynaklanan sınırlayıcılar göz önünde bulundurulmuş minimum duvar ağırlığını veren duvar boyutları elde edilmiştir. Dayanma duvarının tasarımında duvarın ağırlığının optimizasyonu sürecinde sadece beton ağırlığı göz önünde bulundurulmuştur.

2. KONSOL DAYANMA DUVARININ OPTİMUM TASARIMI

Herhangi bir yapının optimizasyonu, yapının modellenmesi, optimum tasarım probleminin matematik modelinin oluşturulması ve probleme ait optimum değerleri bulması beklenen optimizasyon algoritmasının seçimi olmak üzere üç genel adımdan oluşmaktadır.

Dayanma yapıları arasında en yaygın olarak kullanılan konsol dayanma duvarının optimum ağırlık tasarımı harmoni arama algoritması kullanılarak yapılmıştır. Konsol dayanma duvarı yapısal analiz ve gerekli yönetmelikler göz önünde bulundurulmuş modellenmesi için statik açıdan bir problem teşkil etmemektedir. Optimum tasarım modellemesinde, tasarım değişkenleri, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar belirlenmiştir. Bu konular ve optimizasyon metodolojisi sonraki bölümlerde açıklanmıştır. Optimum tasarım problemlerinin genel formülasyonu matematiksel olarak 1 nolu bağıntıda verilmiştir.

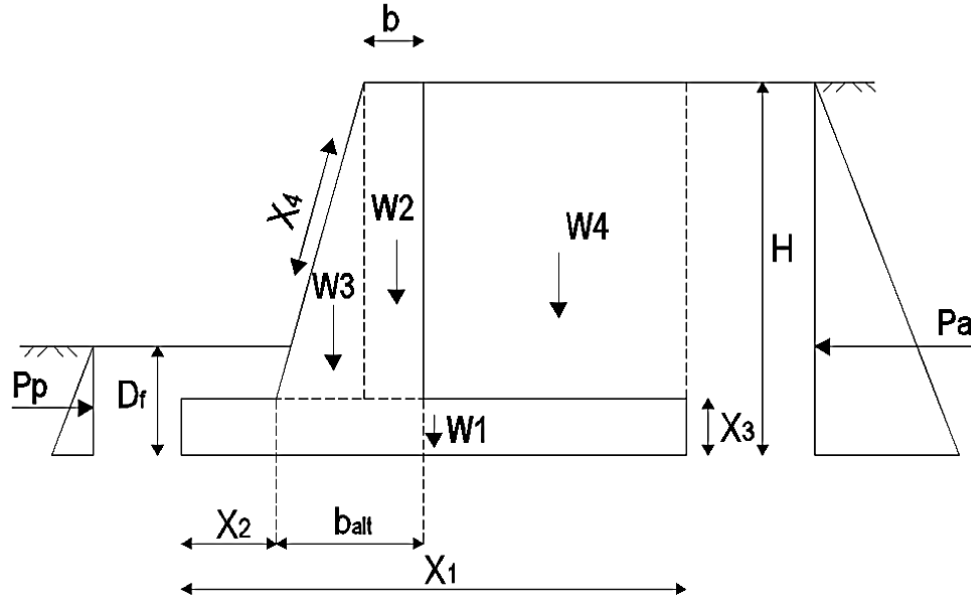
Amaç fonksiyonu: $f(x)$

Sınırlayıcılar: $g_i(x) \leq 0$ $i=1, \dots, n$ ($x^l \leq x \leq x^u$) (1)

Burada, x , tasarım değişkenleri, x^l ve x^u ise tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını göstermektedir.

2.1. Tasarım Değişkenleri

Optimizasyon probleminde, tasarım değişkenleri duvar elemanlarının bazı boyutları olarak alınmıştır. Harmoni arama algoritması ile yapılan optimizasyon probleminin çözümünde, toplam temel genişliği (X_1), gövdeden çıkma mesafesi (X_2), temel plağının kalınlığı (X_3) ve duvar eğimi (X_4) olmak üzere dört tasarım değişkeni dikkate alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Konsol Dayanma Duvarı ve Tasarım Değişkenleri

Bu tasarım değişkenlerine ait alt ve üst sınırlar Tablo 1' de verilmiştir. Bu tasarım değişkenlerinden X_1 ve X_3 , H ' a bağlı olarak değişirken, X_2 , değişkeni X_1 ' e bağlı olarak değişmektedir. Seçilen alt ve üst sınırlar TS 7994 [19] de belirtilen ön boyutlandırma tasarım kılavuzunda belirtilen değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Farklı duvar yüksekliklerinde, farklı içsel sürtünme açısı ve dolgu birim hacim ağırlık değerleri kullanılarak kayma ve devrilme güvenlik sayısı ile geometrik sınırlayıcılarını sağlayan ve minimum duvar ağırlığını veren optimum duvar boyutları harmoni arama algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Duvar yüksekliği, $H= 4-5-6-7-8$ m, için belirli değerlerde alınan birim hacim ağırlık (γ_{zemin}) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerlerine göre analiz yapılmıştır. Seçilen içsel sürtünme açısı değerleri, $\phi = 20-25-30-35-40-45^\circ$ ve dolgu zemin birim ağırlık değerleri, $\gamma_{zemin} = 16-18-20$ kN/m³ tür. Üst gövde kalınlığı, $b=0,25$ m ve temel derinliği, $D_f=1,5$ m olarak alınmıştır. Alt gövde kalınlığı, b_{alt} Bağıntı 2 ile verilmiştir. Beton birim hacim ağırlığı, $\gamma_{beton} = 25$ kN/m³ ve duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı, $\delta=\phi$ olarak alınmıştır.

Tablo 1. Tasarım Değişkenleri ve Sınırları

Tasarım Değişkenleri	Alt Sınır	Üst Sınır	Artım Miktarı
X ₁ Toplam temel genişliği	0,30 H	1,0 H	0,02 H
X ₂ Gövdeden çıkma mesafesi	0,15 X ₁	0,55 X ₁	0,02 X ₁
X ₃ Temel plağının kalınlığı	0,06 H	0,16 H	0,005 H
X ₄ Duvar eğimi	0,02	0,07	0,005

* H: Duvar Yüksekliği

$$b_{alt} = (H - X_3) * X_4 + b \quad (2)$$

2.2. Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, betonarme konsol dayanma duvarının toplam ağırlığının minimum değerini veren matematiksel ifadedir (Bağıntı 3). Duvarın toplam ağırlığını oluşturan W₁, W₂ ve W₃ sırasıyla Bağıntı 4-6' da verilmiştir. Duvarın stabilite analizi için yapılan tahkiklerde kullanılan temel üzerinde kalan zemin ağırlığı (W₄), duvar arkası aktif zemin basıncı (P_a), pasif zemin basıncı (P_p), aktif zemin basınç katsayısı, K_a ve pasif zemin basınç katsayısı K_p sırasıyla Bağıntı 7-11 'de verilmiştir.

$$f_{min}(x) = W_1 + W_2 + W_3 \quad (3)$$

$$W_1 = X_1 * H * \gamma_{beton} \quad (4)$$

$$W_2 = b * (H - X_3) * \gamma_{beton} \quad (5)$$

$$W_3 = (b_{alt} - b) * (H - X_3) * \gamma_{beton} \quad (6)$$

$$W_4 = (B - B_{ön} - b_{alt}) * (H - X_3) * \gamma_{zemin} \quad (7)$$

$$P_a = (\gamma_{zemin} * H^2 * 0,5) * K_a \quad (8)$$

$$P_p = (\gamma_{zemin} * D_f^2 * 0,5) * K_p \quad (9)$$

$$K_a = \tan^2(45 - \theta/2) \quad (10)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \theta/2) \quad (11)$$

2.3. Sınırlayıcılar

Duvarın optimum tasarımında kullanılan sınırlayıcılar, duvarın stabilitesini sağlayan kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayıları ile tasarımında duvarın geometrisinden kaynaklanan sınırlayıcılardır. Kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayısı sınırlayıcısı 1,3 olarak alınmış ve bu sınırlayıcılara ait normalize edilmiş matematiksel ifadeleri sırasıyla Bağıntı 12-13'te verilmiştir.

$$g_1(x) = 1 - \frac{(W_1 + W_2 + W_3 + W_4) \cdot \tan \delta + P_p}{1,3 \cdot P_a} \leq 0 \quad (12)$$

$$g_2(x) = 1 - \frac{W_1 \cdot (X_1/2) + W_2 \cdot (b_{alt} - \frac{b}{2} + X_2) + W_3 \cdot (\frac{2}{3} \cdot (b_{alt} - b) + X_2) + W_4 \cdot \frac{X_1 + X_2 + b_{alt}}{2} + P_p \cdot \frac{D_f}{3}}{1,3 \cdot P_a \cdot H/3} \leq 0 \quad (13)$$

Duvarın geometrisinden kaynaklanan sınırlayıcıların normalize edilmiş matematiksel ifadesi Bağıntı 14-15' te verilmiştir.

$$g_3(x) = \frac{b}{b_{alt}} - 1 \leq 0 \quad (14)$$

$$g_4(x) = \frac{X_2 + b_{alt}}{X_1} - 1 \leq 0 \quad (15)$$

2.4. Sezgisel Yöntemler

Optimum tasarım probleminin, Bölüm 2.1.' de tanımlanan tasarım değişkenlerinin değerlerine uygun olarak Bağıntı 12-15' te verilen tasarım eşitsizlik sınırlayıcılarının sağlanması ve Bağıntı 3' te verilen amaç fonksiyonunun minimum değerinin bulunması gerekmektedir. Tasarım değişkenlerinin değerleri, Tablo 1' de verilen alt ve üst sınırlara sahip ayrık değişkenlerin oluşturduğu tasarım havuzundan seçilmiştir. Eşitsizlik sınırlayıcılı ve ayrık değişkenlere sahip tasarım problemini çözebilecek ve amaç fonksiyon değerini verimli bir şekilde elde edebilecek olan optimizasyon yöntemi olarak harmoni arama algoritması kullanılmıştır. Harmoni arama algoritması basit bir algoritmaya sahip olması, iterasyon sayısının fazla olduğu durumlarda makul zamanda sonuç vermesi, sürekli ya da ayrık değişkenler için kullanılabilmesi ve optimizasyon sürecinde lokal çözümlere takılmadan global çözüme ulaşması gibi kolaylıklardan dolayı diğer sezgisel yöntemlere göre daha avantajlı bir algoritmadır.

3. HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

Bir önce ki bölümde tanımlanmış olan optimum tasarım probleminin çözümü harmoni arama algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Detaylı açıklamaları referans [1]'de verilen bu algoritma aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Adım 1. Harmoni arama parametreleri başlatılır. Optimum tasarım problemindeki her bir tasarım değişkeni için geçerli bir değer aralığı tanımlanır. Bu değerlerden alınarak algoritmanın tasarım değişkenleri için seçeceği değerleri içeren bir havuz oluşturulur. Daha sonra harmoni hafıza matrisinin boyutlarını (HMS) oluşturan harmoni hafızasındaki çözüm vektörlerinin sayısı, harmoni hesaba katma oranı (HMCR) , iki değer arasındaki ayarlama oranı (PAR) ve maksimum arama sayısı da bu adımda seçilir.

Adım 2. Harmoni hafıza matrisi (HM) başlatılır. Harmoni hafıza matrisine ilk değerler atanır. Bu matrisin her satırı belirli bir tasarım değişkeni için olası çözümler içeren ve tasarım havuzundan rastgele seçilen değerleri muhteva eder. Bu yüzden, bu matris

toplam tasarım değişkenlerinin sayısını gösteren N sütuna ve ilk adımda seçilen HMS satıra sahiptir. Harmoni hafıza matrisi aşağıdaki yapıdadır;

$$[H] = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{2,1} & \dots & \dots & x_{n-1,1} & x_{n,1} \\ x_{1,2} & x_{2,2} & \dots & \dots & x_{n-1,2} & x_{n,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1,hms-1} & x_{2,hms-1} & \dots & \dots & x_{n-1,hms-1} & x_{n,hms-1} \\ x_{1,hms} & x_{2,hms} & \dots & \dots & x_{n-1,hms} & x_{n,hms} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$X_{i,j}$, rastgele seçilen j'inci olası çözümde i'nci tasarım değişkeninin değeridir. Bu aday çözüm, amaç fonksiyonunun değeri ilk çözüm vektöründe minimum olacak şekilde sıralanır. Başka bir deyişle, harmoni hafıza matrisinde çözüm vektörleri, amaç fonksiyonlarının değerleri minimumdan maksimuma doğru giden bir şekilde sıralanırlar. Burada sadece olası çözüm vektörleri değil küçük elverişsizlikler içeren çözüm değerleri de çözüm matrisine dahil edilir.

Adım 3. Yeni harmoni hafıza matrisi geliştirilir. Harmoni arama yönteminde yeni bir çözüm vektörünün oluşturulması bu yöntemin temel iki parametresi (HMCR ve PAR) ile kontrol edilir. HMCR, algoritmayı bir tasarım değişkenine değer seçmek için ya harmoni hafızasına ya da tüm değerler kümesine yönlendiren bir olasılık değeridir. Başka bir ifadeyle, bu parametre yeni çözümler oluşturulurken yeni tasarım sahasının araştırılması ile daha önce sıkça bulunan favori çözümlerin ne ölçüde dikkate alınarak kıyaslanması gerektiğini kararlaştırır. Bazen tasarım değişkeni harmoni hafızasından seçildiği zaman bu değişkenin en yakın alt ve üst komşuları ile yer değiştirip değiştirmeyeceği kontrol edilir. Buradaki amaç güncel bir çözüm çevresindeki geçişleri sağlayarak daha detaylı bir arama yapmaktır. Harmoni arama yöntemindeki bu olgu iki değer arasındaki ayarlama (PAR) olarak bilinir.

Sınırlayıcı Kullanımı: Yukarıda belirtilen adımlar çerçevesinde yeni bir harmoni vektörü elde edildiği zaman bunun problem sınırlarını ihlal edip etmediği kontrol edilir. Eğer yeni harmoni vektörü kati bir şekilde elverişsiz bir çözüm vektörü ise atılır. Eğer hafif bir elverişsizliği varsa yeni oluşturulan harmoni hafıza matrisine dahil edilir. Bu yolla sadece birkaç sınırlayıcıyı hafifçe ihlal eden harmoni vektörü PAR operasyonuna tabi tutularak elverişli yeni bir harmoni vektörü sağlanmaya çalışılır. Bu durum tasarım vektörünün kabulü için başlangıçta 0.08 gibi geniş bir hata değeri kullanılarak uygulanır ve tasarım döngüsü süresince dereceli olarak azaltılır ve sonuçta 0.001 gibi bir hata değeri alınır. Bu uyarlamalı hata stratejisi büyük ölçekli tasarım problemlerinde sınırlayıcı kullanımı için oldukça etkilidir.

Adım 4. Harmoni hafıza matrisi güncellenir. Her bir tasarım değişkeni için yeni değerler elde edildikten sonra yeni harmoni vektörü için amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Eğer bu değer harmoni hafıza matrisindeki en kötü harmoni vektörü değerinden iyi ise matrise dahil edilir ve en kötü değer matristen çıkarılır.

Adım 5. Sonlandırma kriteri olan maksimum döngü sayısına ulaşılan kadar Adım 3 ve Adım 4 tekrar edilir.

4. TASARIM ÖRNEKLERİ

Harmoni arama algoritması, Şekil 1’de verilen konsol dayanma duvarının optimum ağırlığının bulunmasında kullanılmış ve yapılan analizlerden algoritmanın etkili ve verimli bir yöntem olduğunu gösteren beş adet tasarım örneği verilmiştir. Tablo 2’de verilen örnek tasarımlar için analizde kullanılan giriş değerleri ve analiz sonucunda elde edilen optimum duvar boyutları verilmiştir. Aynı tabloda, tasarımda kullanılan her duvar yüksekliği değeri verilirken, içsel sürtünme açısı ve dolgu birim hacim ağırlık değerleri için belirli değerler verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, dolgu birim hacim ağırlık değerlerinin değişimi elde edilen optimum ağırlık değerlerini önemli derecede etkilemediği için $\gamma_{zemin} = 18 \text{ kN/m}^3$ ortalama değer olarak seçilmiştir. Tasarım örneklerinde, optimum duvar ağırlığının elde edildiği ve sonrasındaki analizlerde sonucun değişmediği içsel sürtünme açısı değerleri alınmıştır. Tablo 3’de örnek tasarımlar için optimum duvar ağırlık değerleri ve bu değerlere karşılık gelen kayma ve devrilme güvenlik sayıları verilmiştir.

Tablo 2. Tasarım Örnekleri için Giriş ve Optimum Değerler

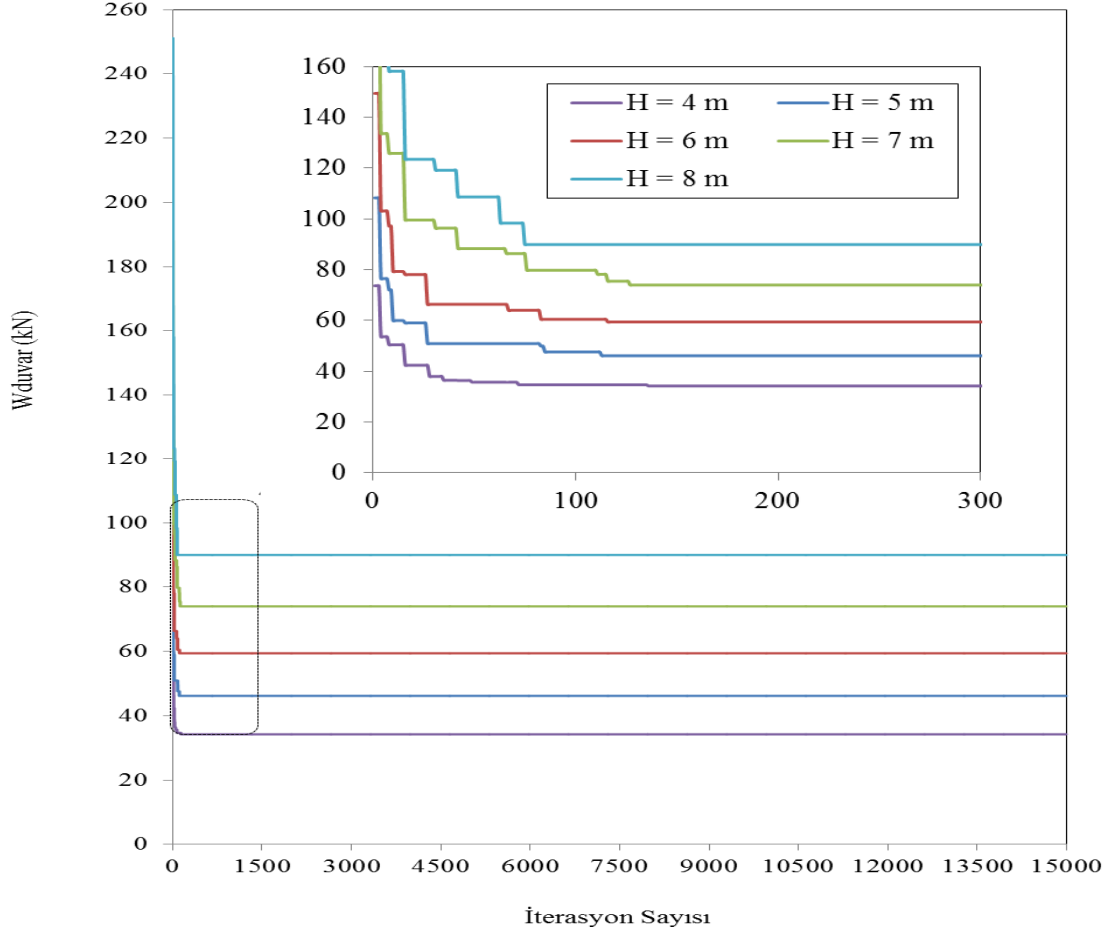
		Birim	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 5
Giriş Değerleri	H	(m)	4	5	6	7	8
	θ	(°)	30	35	40	40	40
	γ_{zemin}	(kN/m ³)	18	18	18	18	18
Optimum Değerler	X₁	(m)	2,16	3,50	4,80	5,88	7,04
	X₂	(m)	0,324	0,525	0,720	0,882	1,056
	X₃	(m)	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48
	X₄	(m)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Tablo 3. Optimum Duvar Ağırlığı ve Kayma-Devrilme Güvenlik Sayıları

	W_{duvar} (kN)	F_s (kayma)	F_s(devrilme)
Örnek 1	34,2344	2,22	1,32
Örnek 2	46,1475	2,66	1,40
Örnek 3	59,4024	3,40	1,60
Örnek 4	73,9991	3,07	1,47
Örnek 5	89,9376	2,83	1,40

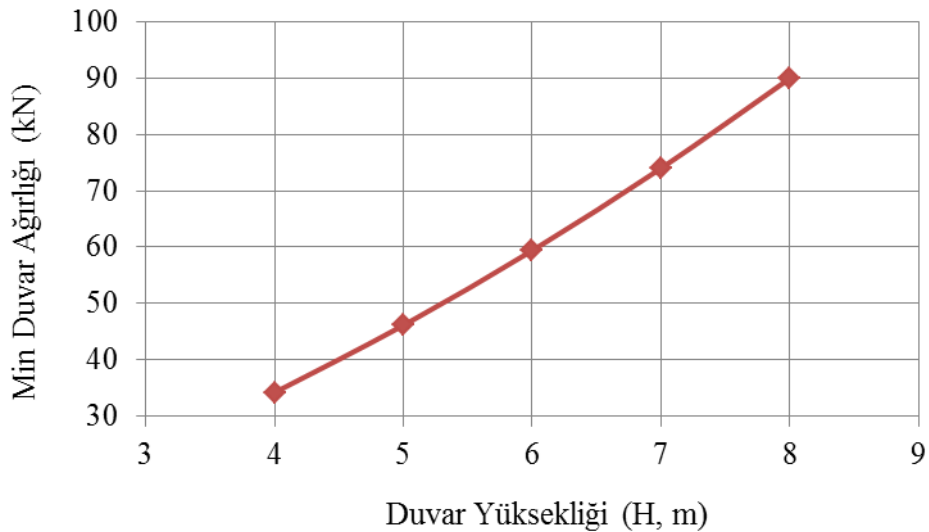
Bu çalışma için, harmoni arama algoritması parametreleri, HMS= 20, HMCR= 0,95 ve PAR= 0,15 olarak seçilmiştir. Algoritmadan elde edilen global ya da globale yakın optimum değerlerin doğruluğundan emin olmak için iterasyonlar yapılmış ve optimum değerler 15000 iterasyon sonucunda elde edilmiştir. Bu sayı, fazla sayıda iterasyonla birçok analizin gerçekleştirilmesinden sonra belirlenmiş ve daha sonraki analizlerde elde edilen değerlerin 15000 iterasyonla elde edilen sonuç ile aynı kaldığı görülmüştür.

Şekil 2’de duvar ağırlığı ile iterasyon sayısı arasındaki değişim incelendiğinde duvar ağırlığının harmoni arama sürecinde artan iterasyon sayısı ile birlikte azaldığını ve yaklaşık 150 iterasyonda optimum duvar ağırlığına ulaşıldığı görülmektedir.

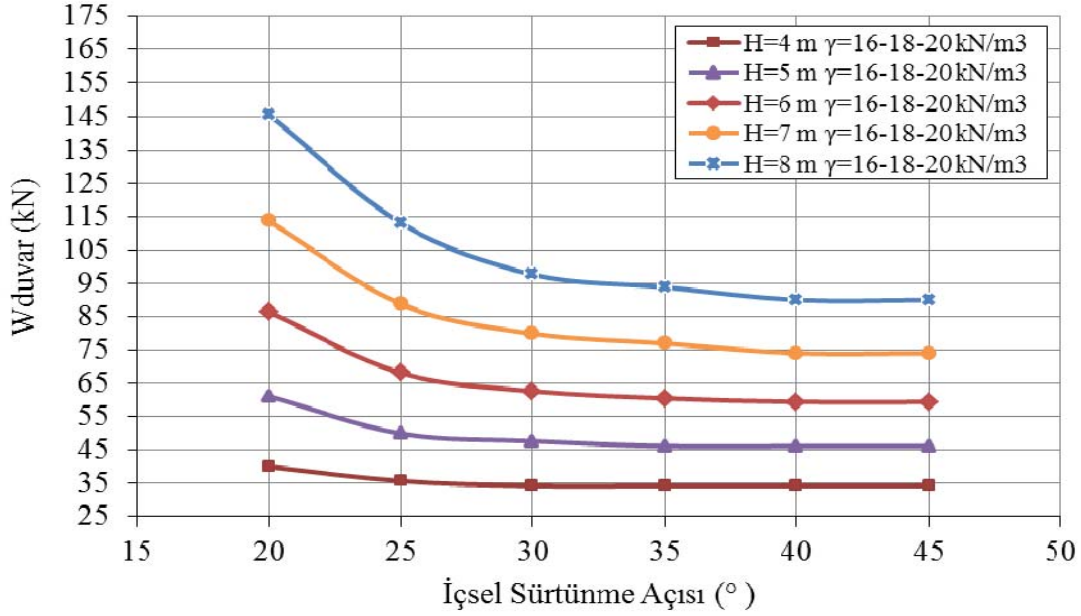


Şekil 2. Duvar Ağırlığı ile İterasyon Sayısı Arasındaki Değişim

Analizlerden elde edilen optimum duvar ağırlıkları duvar yüksekliği arttıkça artış göstermiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Duvar Yüksekliği ile Minimum Duvar Ağırlığı Arasındaki Değişim



Şekil 4. Duvar Ağırlığı ile İçsel Sürtünme Açısı Arasındaki Değişim

Şekil 4' te duvar ağırlığı ile içsel sürtünme açısı arasındaki değişim verilmiştir. Tüm duvar yükseklikleri için içsel sürtünme açısının artmasıyla duvar ağırlığının azaldığı görülmüştür.

5.SONUÇLAR

Çalışmada son yıllarda geliştirilmiş ve başarılı bir optimizasyon tekniği olan harmoni arama algoritması kullanılarak, betonarme konsol dayanma duvarlarının optimum tasarımı için parametrik analizler yapılmış, minimum ağırlığı veren duvar boyutları bulunmuştur. Tasarım probleminin formulasyonunda, amaç fonksiyonu olarak duvarın ağırlığı alınmıştır. Elde edilen optimum duvar boyutları tasarım değişkenleri için verilen alt ve üst sınırları sağlamaktadır. Klasik konsol duvar tasarımlarında ön boyutlandırma yapılarak, seçilen boyutların kayma veya devrilmeye karşı güvenlik sayıları hesaplanmaktadır. Bu şekilde yapılan tasarım ile ekonomik duvar boyutlarını belirlemek mümkün olmayıp ancak çok sayıda ön boyutlandırma ile hesaplamaların yapılması sonucunda optimum duvar boyutları elde edilebilecektir. Bir örnekle açıklamak gerekirse; şev geometrisi ve zemin özellikleri değişmeyen iki farklı ön tasarım için yapılan kayma ve devrilme kontrolleri sonrasında güvenlik sayılarının;

1. Ön boyutlandırma için $FS_{(kayma)}=1.5$ ve $FS_{(devrilme)}=4$
2. Ön boyutlandırma için $FS_{(kayma)}=2.5$ ve $FS_{(devrilme)}=3$

olduğu durumlardan hangisinin ekonomik olduğuna birkaç ön boyutlandırma yaparak karar vermek oldukça zordur. Yapılan çalışma ile optimum duvar boyutlarının elde edilmesi için kayma veya devrilmeye karşı güvenlik sayılarından birisinin istenilen minimum değerinde (1.3 veya 1.5) olmasının yeterli olmadığı görülmüştür. Bunun için uygun bir yöntem seçilerek optimizasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Tasarım problemlerinde, kayma ve devrilmeye karşı güvenlik sayıları sınırlayıcı olarak alındığından dolayı belirlenen optimum ağırlıklar için konsol dayanma duvarının stabilitesi sağlanmıştır. Analizler için etkili bilgisayar programı geliştirilmiş ve yeterli sayıda iterasyonla duvarın optimum ağırlığı elde edilmiştir. Çalışma ile bu tür sezgisel yöntemlerin geoteknik mühendisliği yapılarının optimum tasarımında kullanılabileceği gösterilmiştir.

Harmoni arama algoritması kullanılarak yapılan analizlerin kapsamının genişletilmesi ile tasarımlarda kolaylıkla kullanılabilecek ve optimum boyutları verebilecek ön tasarım kılavuzlarının elde edilmesi mümkün olabilecektir. Önerilen optimizasyon algoritması matematiksel olarak basit ve geleneksel optimizasyon yöntemlerinden daha kolay olup konsol dayanma duvarı tasarımlarında etkili ve güvenilir bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Geem, Z. W., Kim, J. H., Loganathan, G. V., "A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search", *Simulations*, 76(2), 60-68, 2001.
- [2] Lee, K. S., Geem, Z. W., "A New Structural Optimization Method Based on the Harmony Search Algorithm", *Computers and Structures*, Vol. 82, No.1, pp. 781–798, 2004.
- [3] Lee, K. S., Geem, Z. W., "A New Meta-Heuristic Algorithm for Continuous Engineering Optimization: Harmony Search Theory and Practice", *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol.194, No.1, pp. 3902–3933, 2005.
- [4] Mahdavi, M., Fesanghary, M., Damangir, E., "An Improved Harmony Search Algorithm for Solving Optimization Problems", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 188, No.1, pp. 1567–1579, 2007, Washington, DC, USA.
- [5] Geem, Z. W., Lee, K. S., and Tseng, C., Li., "Harmony search for structural design." *Proceedings of the 7th annual conference on Genetic and evolutionary computation. ACM*, 25 – 29 June 2005, .
- [6] Çarbaş, S., and M. P. Saka., "Optimum design of single layer network domes using harmony search method", *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* 10.1 97-112, 2009.
- [7] Çarbaş, S. and Saka. M. P., "Optimum design of cold-formed open thin-walled sections using harmony search algorithm", In *9th International Congress on Advances in Civil Engineering*, 27-30 September 2010, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey.
- [8] Akin, A., and M. P. Saka. "Harmony search algorithm based optimum detailed design of reinforced concrete plane frames subject to ACI 318-05 provisions." *Computers & Structures* 147, 79-95, 2015.
- [9] Geem, Zong Woo. "Optimal cost design of water distribution networks using harmony search." *Engineering Optimization* 38.03, 259-277, 2006.
- [10] Ayvaz, M. Tamer, and Alper Elçi. "A groundwater management tool for solving the pumping cost minimization problem for the Tahtali watershed (Izmir-Turkey) using hybrid HS-Solver optimization algorithm." *Journal of Hydrology* 478, 63-76, 2013.
- [11] Geem, Zong Woo, Kang Seok Lee, and Yongjin Park. "Application of harmony search to vehicle routing." *American Journal of Applied Sciences* 2.12, 1552-1557, 2005.

- [12] Cheng, Y.M. (2009), "Music-Inspired Harmony Search Algorithm: Modified harmony methods for slope stability problems", Springer Berlin Heidelberg
- [13] Fattahi, H., "Prediction of Slope Stability State for Circular Failure: A Hybrid Support Vector Machine with Harmony Search Algorithm." *Int. J. Optim. Civil Eng* 5.1, 103-115, 2015.
- [14] Cheng, Y. M., Li, L., Sun, Y. J., and Au, S. K., "A coupled particle swarm and harmony search optimization algorithm for difficult geotechnical problems.", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 45(4), 489-501, 2012.
- [15] Cheng, Y. M., L. Li, and S. S. Fang. "Improved harmony search methods to replace variational principle in geotechnical problems." *Journal of Mechanics*, 27.01, 107-119, 2011.
- [16] Khajehzadeh, M., Taha, M. R., El-shafie, A., and Eslami, M., "Economic design of foundation using harmony search algorithm." *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5.6, 936-943., 2011.
- [17] Akın, A., and Saka, P., "Optimum Design of Concrete Cantilever Retaining Walls using the Harmony Search Algorithm.", *Civil-Comp Press*, 10.4203, ccp.93.130, 2010
- [18] Tan, Ö., Çelebi, K., İ., ve Erkan, İ., H., "Konsol Dayanma Duvarlarının Tasarımını Etkileyen Faktörlerin Arastırılması", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi*, 30 Eylül-1 Ekim 2010, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- [19] TS 7994/Şubat 1990 "Zemin Dayanma Yapıları, Sınıflandırma, Özellikler ve Projelendirme Esasları".