


Bir doğrultuda birleşik eğilme etkisindeki tekil temellerin çeşitli sezgisel algoritmalarla TS500'e göre minimum maliyetle optimum tasarımı

Cost optimum design of spread footing under uniaxial combined bending according to TS500 via various metaheuristic algorithms

Hasan Tahsin ÖZTÜRK^{1*} 

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
hozturk@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 20.07.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 06.10.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.65807

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada betonarme tekil temellerin minimum maliyetle optimum tasarımları Yapay Arı Koloni, Guguk Kuşu Arama, Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması adlarıyla bilinen çeşitli sezgisel algoritmalarla gerçekleştirilmiştir. Söz konusu algoritmalarla gerçekleştirilen optimum tasarımlardan elde edilen bulgular çeşitli başarımlar (performans) ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Algoritmalar en yüksek başarımları ve en yüksek yakınsama hızını öğretme ve öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması göstermiştir. Diğer taraftan temelin eğilme momenti ve normal kuvvet düzeyi ile temel zeminin taşıma gücünün optimum tasarıma etkisi birtakım parametrik çalışmalarla incelenmiştir. Gerçekleştirilen parametrik çalışmalardan normal kuvvetin artmasıyla tekil temelin minimum maliyetinin arttığı, ayrıca dış merkezlik düzeyinin artmasıyla bu artış düzeyinin de yükseldiği anlaşılmıştır. Zemin emniyet gerilmesinin artmasıyla temelin minimum maliyetinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Tekil temel, Betonarme, Optimizasyon

Abstract

In this study, optimum designs of reinforced concrete spread footings bases with minimum cost were realized with various metaheuristic algorithms known as Artificial Bee Colony, Cuckoo Search, Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm. The findings obtained from the optimum designs performed by the algorithms are evaluated according to various performance criteria. Teaching-Learning-Based optimization algorithm showed the highest performance and convergence speed. On the other hand, the effect of bending moment-axial force level, bearing capacity of soil on the optimum design of the spread footing are investigated by some parametric studies. It is understood that the increase in axial force increases the minimum cost of the spread footing and the increase in the eccentricity level rises the degree of increase. It has been observed that the minimum cost of spread footing has decreased with the increase of the bearing capacity of soil.

Keywords: Spread footing, Reinforced concrete, Optimization

1 Giriş

Gün geçtikçe dünya üzerindeki kaynakların tükenmesi, yapıların tasarımında; dayanım, dayanıklılık, süneklik, rijitlik ve stabiliteden taviz vermeden maliyetin de dikkate alınmasını daha önemli hale getirmektedir. Geçmişte yapı elemanlarının daha ekonomik tasarımlarının gerçekleştirilmesi mühendislik önsesizine bağlıken, optimizasyon tekniklerinin ve bilgisayarların gelişmesiyle birlikte yapıların minimum maliyetle tasarlanabilmeleri olağan hale gelmiştir.

Yapısal optimizasyonun ilk uygulamaları, tasarım değişkenlerinin ve sınırlayıcılarının daha kolay tanımlanabilmesi nedeniyle, çelik eleman ve bu tür elemanlardan oluşan sistemler için gerçekleştirilmiştir. Daha sonraları optimizasyon problemi olarak ifade edilmesi nispeten daha güç olan betonarme elemanların ve yapıların optimum tasarımları yapılabilmektedir.

Çelik yapı sistemlerinde gerçekleştirilen optimizasyonda, yapı ağırlığının minimizasyonu yeterliyken, donatı, beton ve betonarme kalıbı gibi bileşenlerden oluşan betonarme yapı sistemlerinin optimizasyonunda maliyetin dikkate alınması gerekmektedir. Diğer bir deyişle betonarme bir eleman için minimum ağırlıklı bir eleman, her zaman minimum maliyetli olmayabilmektedir.

Teknik literatürde birçok araştırmacı betonarme eleman ve yapıların optimizasyonu konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda başlıca; betonarme kolonların, kirişlerin,

sürekli kirişlerin, temellerin, döşemelerin, istinat duvarlarının, betonarme düzlem çerçeve sistemlerin, üç boyutlu çerçeve sistemlerin ve yeraltı yapılarının optimum tasarımları gerçekleştirilmiştir [1]-[7].

Literatürde tekil temellerle ilgili yapılan optimizasyon çalışmalarında genellikle Amerikan Betonarme yönetmeliklerine göre tasarım gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte Khajehzadeh ve diğ. [8] çalışmalarında bir eksenli birleşik eğilme etkisindeki örnek bir tekil temelin ve bir uygulama üzerinde konsol betonarme bir istinat duvarının optimum tasarımını Değiştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasıyla gerçekleştirmişlerdir. Khajehzadeh ve diğ. [9] ise çalışmasında bir eksenli birleşik eğilme etkisindeki örnek iki tekil temelin optimum tasarımını Ateş Böceği Algoritmasını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Camp ve Assadollahi [10] CO₂ emisyonu ve maliyet bakımından bir eksenli eğilme etkisindeki tekil temellerin optimum tasarımını Melez Büyük Patlama Büyük Çöküş Algoritmasıyla gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte bu çalışmada beton sınıfının ve zeminin bazı özelliklerinin etkisinin minimum CO₂ emisyonu ve maliyete olan etkisi incelenmiştir. Yine aynı yazarlar tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada [11] söz konusu temellerin CO₂ emisyonunu ve maliyeti birlikte dikkate alan çok amaçlı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada da beton sınıfının optimizasyona etkisi incelenmiştir.

Bu makalede ise bir doğrultuda birleşik eğilme etkisindeki betonarme tekil temellerin minimum maliyetle optimum

tasarımları TS500 standardına uygun olarak; literatürde bu problemin çözümünde daha önce kullanılmamış olan Yapay Arı Koloni (YAK), Guguk Kuşu (GK), Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) Algoritmalarıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada zemin emniyet gerilmesinin, normal kuvvet ve eğilme momenti düzeyinin temel minimum maliyetine etkisi incelenmiş ve söz konusu algoritmaların başarımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2 Kullanılan optimizasyon algoritmaları

2.1 Yapay arı koloni algoritması

Doğadaki birçok varlık gösterdikleri zeki davranışlarla araştırmacıların optimizasyon algoritmalarını geliştirmelerinde ilham kaynağı olmuşlardır. Bunlardan bir tanesi de Karaboğa'nın [12] geliştirdiği arıların gerçek nektar arama davranışlarından esinlenen Yapay Arı Koloni Algoritmasıdır. Bu algoritma dışında teknik literatürde yine arı davranışlarını modelleyen Arı Koloni Optimizasyon [13], Sanal Arı [14] ve Arı [15] Algoritmaları da bulunmaktadır. Tüm bu algoritmalar aralarında benzerlik bulunmasının yanında, birbirinden bazı farklılıkları bulunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan Yapay Arı Koloni Algoritmasının temelini oluşturan bazı kabuller bulunmaktadır. Bu kabullerden biri, her bir kaynaktaki nektarın sadece bir arı tarafından alınması ve dolayısıyla görevli arı sayısı toplam nektar kaynağı sayısının eşit olmasıdır. Bir nektar kaynağının yeri optimizasyon problemindeki olası çözümlerden birine, bu kaynaktaki nektar miktarı ise o kaynağın uygunluğuna karşılık gelmektedir. Nektarı tükenmiş olan kaynağın görevli arısı kâşif arı haline dönüşmektedir. Bu şekilde Yapay Arı Koloni Algoritması en fazla nektara sahip kaynağın yerini bulmaya çalışarak arama uzayındaki çözümlerden problem için minimum ya da maksimum çözümü bulmaya çalışmaktadır.

2.2 Guguk kuşu arama algoritması

Guguk Kuşu Arama Algoritması, Yang ve Deb [16] tarafından geliştirilen bir sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Algoritma, guguk kuşu olarak adlandırılan kuşun agresif üreme stratejisinden esinlenmektedir. Algoritmaya ilham veren olgun guguk kuşları yumurtalarını diğer konakçı kuşların veya türlerin yuvalarına yerleştirirler. Bu davranış "zorunlu yavru parazitliği" olarak bilinmektedir. Bir yuvadaki her bir yumurta bir optimizasyon probleminin bir çözümünü, bir guguk kuşu yumurtası ise yeni bir çözümü temsil etmektedir. Eğer bir ev sahibi kuş, guguk kuşu yumurtalarının kendine ait olmadığını keşfederse, ya bu yabancı yumurtaları yuvadan atmakta ya da yuvasını terk ederek başka yerlerde yeni bir yuva inşa etmektedir. Genel olarak, guguk kuşu yumurtaları ev sahibi kuşun yumurtalarından daha erken çıkmaktadır. Bu yumurtaların bazıları aynı zamanda ev sahibi kuş yuvasına benzeyebilmektedir. Diğer taraftan çıkan guguk kuşu yavruları ev sahibi kuşlardan daha fazla büyüyebilmekte ve daha fazla beslenme fırsatı bulabilmektedirler. Guguk kuşu yumurtalar ev sahibi kuşlar tarafından tanınmazsa, büyür ve olgun guguk kuşu haline gelmektedir. Guguk Kuşu Arama Algoritması üreme için en iyi ortam bulması sayesinde amaç fonksiyonunun global uç değerlerini bulmasını sağlamaktadır [17].

2.3 Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması

Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması, öğretmenin sınıftaki öğrenciler üzerindeki etkisini taklit eden sezgisel bir algoritmadır [18]. Öğretmen ve öğrenci aşamalarından ibaret olan algoritmada öğretmen aşaması,

öğretmenin öğrencileri eğitmesi, öğrenci aşaması ise öğrencilerin kendi aralarındaki etkileşimi sonucu gerçekleşen öğrenmeyi temsil etmektedir. Öğrenme sürecinde öğretmenin bilgi düzeyi ne kadar yüksekse öğrencilerden elde edilen çıktılar da kalitesi o denli yüksek olmaktadır. Burada öğrencilerden elde edilen çıktılar optimizasyon problemindeki aday çözümleri temsil etmektedir. Algoritmada nesil (popülasyon) sınıfta bulunan öğrenciler ve öğretmenden oluşmaktadır.

Algoritmanın başlangıcında nesli oluşturan bireyler rastgele olarak üretilmekte ve bunlardan en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip olanı öğretmen ($X_{\text{öğretmen}}$) olarak dikkate alınmaktadır. Öğretmen aşamasında öğretmen olarak seçilen birey, öğrenci olarak seçilen diğer bireylerin bilgi düzeylerini kendi bilgi düzeyine yükseltmeye çalışmaktadır. Algoritmada bu süreç benzetilen söz konusu işlemle yeni eğitilmiş öğrenci bireyler:

$$X_{\text{yeni},i} = X_{\text{eski},i} + r_i(X_{\text{öğretmen}} - T_f X_{\text{ort}}) \quad (1)$$

ifadesiyle üretilmektedir. Burada $X_{\text{yeni},i}$ yeni üretilen i . öğrenci bireyi, $X_{\text{eski},i}$ öğrenci olarak belirlenen popülasyondaki i . eski bir çözümü, r_i i . birey için rastgele üretilen ve 0 ile 1 arasında değer alan bir sayıyı, T_f 1 ya da 2 değerini rastgele alan bir katsayıyı ve X_{ort} ise bireylerin bilgi düzeyi ortalamasını göstermektedir. Eğer yeni üretilen bireyin bilgi düzeyi eski bireyden daha yüksek olduğu belirlenirse algoritma eski bireyi yeni eğitilmiş bireyle yer değiştirmektedir.

İkinci aşama olan öğrenci aşamasında algoritma, daha önce de belirtildiği gibi öğrencilerin kendi aralarında olan etkileşimlerinin benzetimini gerçekleştirmektedir. Burada popülasyonda öğrenci olarak seçilen i . eski bir birey ($X_{\text{eski},i}$), kendisinde farklı olan ve yine popülasyon içinden rastgele seçilen farklı j . eski bir bireyle ($X_{\text{eski},j}$) etkileşime sokulmaktadır. Bu süreç algoritmada matematiksel olarak:

$$\text{Eğer } f(X_i) > f(X_j) \rightarrow \quad (2)$$

$$X_{\text{yeni},i} = X_{\text{eski},i} + r(X_{\text{eski},j} - X_{\text{eski},i})$$

$$\text{Eğer } f(X_j) > f(X_i) \rightarrow \quad (3)$$

$$X_{\text{yeni},i} = X_{\text{eski},i} + r(X_{\text{eski},i} - X_{\text{eski},j})$$

bağıntılarıyla gerçekleştirilmektedir. Etkileşim sayesinde yeni oluşturulan öğrenci bireyin ($X_{\text{yeni},i}$) bilgi düzeyi etkileşimden önceki bireyden ($X_{\text{eski},i}$) daha yüksekse etkileşimden önceki öğrenci yenisiyle değiştirilmektedir [19].

3 Optimizasyon probleminin tanımı

3.1 Amaç fonksiyonu

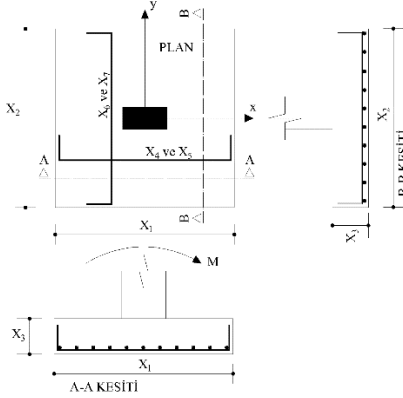
Bu çalışmada betonarme bir tekil temel minimum maliyetle optimum tasarımı gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle amaç fonksiyonu temel maliyetini ifade eden ve betonunun, donatının ve betonarme kalıbının maliyetleri dikkate alınan bir bağıntıyla ifade edilmiştir. Söz konusu amaç fonksiyonu:

$$f(x) = V_b M_b + W_c M_c + A_k M_k \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada V_b beton hacmini, W_c donatı ağırlığını, A_k kalıp alanını, M_b , M_c ve M_k ise sırasıyla betonun, donatının ve kalıbın birim fiyatlarını ifade etmektedir.

3.2 Tasarım değişkenleri

Bu problemin tasarım değişkenleri, temelin geometrisini ifade eden boyutlar ile asal donatı çap ve sayısından oluşmaktadır. Tasarım değişkenleri aşağıdaki Şekil 1'de görülmektedir. X_1 ve X_2 değişkenleri temelin x ve y doğrultularındaki boyutlarını, X_3 temelin kalınlığını, X_4 temele x doğrultusunda yerleştirilen asal donatının çapını, X_5 ise sayısını, X_6 temele y doğrultusunda yerleştirilen asal donatının çapını, X_7 ise sayısını göstermektedir.



Şekil 1: Tekil temel detayında tasarım değişkenleri.

Temelin optimum tasarımında seçilen tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları, artım değerleriyle tasarım değişkeninin optimizasyon sürecinde alabileceği değer sayısı aşağıdaki Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1: Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları, artımları ve alabilecekleri değer sayısı.

Tasarım Değişkeni	Alt Sınır	Üst Sınır	Artım	Alabileceği Değer Sayısı
X1	700 mm	4000 mm	50 mm	67
X2	700 mm	4000 mm	50 mm	67
X3	250 mm	1000 mm	50 mm	16
X4	{14, 16, 18, 20, 22, 25, 26, 28} mm			8
X5	1 adet	100 adet	1 adet	100
X6	{14, 16, 18, 20, 22, 25, 26, 28} mm			8
X7	1 adet	100 adet	1 adet	100

3.3 Sınırlayıcılar

Problemin sınırlayıcıları, geometrik olarak uygunluğu sağlamak, TS500'deki koşulları ve dayanım ölçütlerini denetlemek amacıyla kullanılmaktadır. Problemin optimizasyon problemi haline dönüştürülmesinde kullanılan sınırlayıcılar bu bölümde özetlenmektedir.

Temel altında oluşan en büyük gerilmenin (σ_{maks}), temel zeminin dayanımından büyük olması gerekmektedir. Bu koşul:

$$g_1(x) = \frac{\sigma_{maks}}{f_{zu}} - 1 \leq 0 \quad (5)$$

ifadesiyle denetlenmektedir. Burada zemin dayanımı (f_{zu}), zemin emniyet gerilmesinin 1.5 katı kadar alınmıştır [20]. Temel altında oluşan en büyük ve en küçük zemin gerilmesi,

$$\sigma_{maks/min} = \frac{N_d}{X_1 X_2} \pm \frac{6M_d}{X_1^2 X_2} \quad (6)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Burada N_d kolon tabanından temele etkiyen tasarım normal kuvvetini, M_d ise tasarım momentini göstermektedir. Temele oturan kolondan temele

etkiyen tasarım momentiyle tasarım eksenel yükü etkisinde oluşan dış merkezliğin (e) temel genişliğinin $1/6$ 'sından küçük olması, temel altında çekme gerilmesinin oluşmaması için gerekmektedir. Bu koşul:

$$g_2(x) = \frac{6e}{X_1} - 1 \leq 0 \quad (7)$$

ifadesiyle denetlenmektedir. Temel kalınlığının uygunluğu ilk olarak yönetmelik koşullarına göre denetlenmektedir [21]. Buna göre temel kalınlığı 250 mm'den ve konsol çıkıntılarının dörtte birinden büyük olmalıdır. Bu koşul her iki doğrultu için de denetlenecektir.

$$g_{3-4}(x) = \frac{\text{Konsol çıkıntı (x veya y doğ.)}/4}{X_3} - 1 \leq 0 \quad (8)$$

Bu çalışmada temel kalınlığının 250 mm'den büyük olması koşulu, temel kalınlığı veri havuzunda en küçük değer olan 250 mm alınmasıyla sağlanmıştır. Diğer taraftan temel zemininde hesaplanan maksimum gerilmenin, net zemin dayanımında (f_{zn}) küçük olması gerekmektedir. Bu koşul:

$$g_5(x) = \frac{\sigma_{maks}}{f_{zn}} - 1 \leq 0 \quad (9)$$

ifadesiyle denetlenmektedir Burada net zemin dayanımı,

$$f_{zn} = f_{zu} - 18 X_3 \quad (10)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır [22]. Temelin zımbalama dayanımı ise V_{pd} temelin zımbalama tasarım kuvvetini V_{pr} temelin zımbalama dayanımını göstermek üzere:

$$g_6(x) = \frac{V_{pd}}{V_{pr}} - 1 \leq 0 \quad (11)$$

sınırlayıcısıyla denetlenmektedir. Burada zımbalama tasarım kuvveti σ_{zo} temel altında oluşan ortalama gerilme, A_p zımbalama alanı olmak üzere:

$$V_{pd} = N_d - \sigma_{zo} A_p \quad (12)$$

ifadesiyle, temelin zımbalama dayanımı ise, γ eğilme momenti düzeyine bağlı olarak zımbalama dayanımını azaltan bir katsayıyı, u_p zımbalama çevresini ve d faydalı yüksekliği göstermek üzere:

$$V_{pr} = \gamma f_{cta} u_p d \quad (13)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Temelin kesmeye göre denetlenmesinde temelin konsol çıkıntılarının kolon yüzündeki tasarım kesme kuvvetinin (V_d), temelin kesmede çatlama dayanımından (V_{cr}) daha küçük olması gerekmektedir. Bu koşul her iki doğrultuda:

$$g_{7-8}(x) = \frac{V_d}{V_{cr}} - 1 \leq 0 \quad (14)$$

ifadesiyle denetlenmektedir. Eğilmeye göre taşıma gücünün denetlenmesi için ise kesite yerleştirilmiş donatıya göre hesaplanan her iki doğrultudaki eğilme momenti taşıma gücünün (M_{rx} ve M_{ry}), temelin kolon yüzünde oluşan tasarım momentinden (M_d) büyük olması gerekmektedir. Bu koşul:

$$g_{9-10}(x) = \frac{M_d}{M_{rx} \text{ veya } M_{ry}} - 1 \leq 0 \quad (15)$$

ifadesiyle denetlenmektedir. Ayrıca her iki doğrultuda yerleştirilen asal donatıların kesitteki oranının minimum donatı oranından ($\rho_{min}=0.002$) büyük olması gerekmektedir. Bu denetim ρ_x x doğrultusundaki asal donatı oranını, ρ_y y doğrultusundaki asal donatı oranını göstermek üzere:

$$g_{11-12}(x) = \frac{\rho_{min}}{\rho_x \vee \rho_y} - 1 \leq 0 \quad (16)$$

sınırlayıcısıyla kontrol edilmektedir. Diğer taraftan temelle ilgili TS500'e göre belirtilen geometrik koşullar da dikkate alınmıştır. Bu koşullardan biri temel genişliğinin en az 0.70 m olmasıdır. Bu koşul veri havuzunda minimum temel boyutunun (X_1 ve X_2) 0.70 m alınmasıyla sağlanmıştır. Diğer bir koşul olan taban alanının 1 m²'den büyük olması ise:

$$g_{13}(x) = \frac{1}{X_1 X_2} - 1 \leq 0 \quad (17)$$

sınırlayıcısıyla denetlenmektedir. Donatılar arası mesafenin 250 mm'den az olması koşulu her iki doğrultuda, s_x ve s_y sırasıyla x ve y doğrultusundaki asal donatıların aralığını göstermek üzere:

$$g_{14-15}(x) = \frac{s_x \vee s_y}{250} - 1 \leq 0 \quad (18)$$

sınırlayıcısıyla denetlenmektedir. Diğer taraftan çalışmada donatılar arası net mesafenin kirişlerde olduğu gibi en az 20 mm'den, donatı çapından ve agrega boyutunun 4/3'ünden az olmaması koşulu dikkate alınmıştır. Bunun için s_{min} söz konusu sınır koşullardan en büyüğünü s_{xnet} ve s_{ynet} sırasıyla x ve y doğrultusundaki asal donatıların net aralıklarını göstermek üzere:

$$g_{16-17}(x) = \frac{s_{min}}{s_{xnet} \vee s_{ynet}} - 1 \leq 0 \quad (19)$$

sınırlayıcıları kullanılmaktadır. Ayrıca yeterli sünekliğin sağlanması bakımından maksimum donatı oranı $\rho_{maks}=0.85\rho_b$ olmak üzere x ve y doğrultularındaki donatı oranlarının

$$g_{18-19}(x) = \frac{\rho_x \vee \rho_y}{\rho_{maks}} - 1 \leq 0 \quad (20)$$

sınırlayıcısıyla maksimum donatı oranı altında kalması sağlanmaktadır. Burada ρ_b dengeli donatı oranını göstermektedir.

Dikkate alınan sınırlayıcıların algoritmalara eklenmesinde Guguk kuşu ve Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritmalarında ceza fonksiyonu yöntemi, Yapay Arı Koloni Algoritmasında Deb tarafından geliştirilen sınırlayıcı işleme yöntemi [23] kullanılmıştır.

4 Sayısal uygulamalar

4.1 Bir tekil temelin optimum tasarım uygulaması

Gerçekleştirilen sayısal uygulamada seçilen temel için optimizasyon parametreleri, diğer bir deyişle optimizasyon süreci boyunca sabit kabul edilen değerler aşağıdaki Tablo 2'de sunulmaktadır.

İlk sayısal uygulamada söz konusu parametrelere sahip tekil temelin minimum maliyetle optimum tasarımı Yapay Arı Koloni (YAK), Guguk kuşu (GK), Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) Algoritmalarıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada algoritmalar MATLAB yazılımıyla kodlanmıştır.

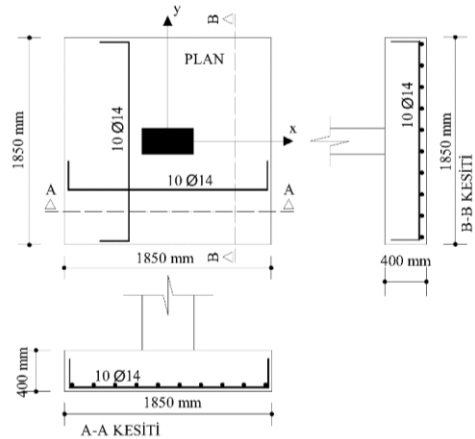
Yapay Arı Koloni Algoritmasının denetim parametrelerinden olan MR, SPP ve LIMIT'in en uygun değerleri sırasıyla 0.4, 5 ve 5 olarak alınmıştır. Guguk Kuşu Arama Algoritmasının denetim parametresi olan ρ_a 'nın (yabancı yumurta keşif olasılığının) değeri ise 0.55 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinde; deneme yanılma yöntemi kullanılmış ve denenen değerler arasında minimum maliyeti en yüksek başarımla veren değerler seçilmiştir. Her bir algoritmada 60 bireyden oluşan nesiller kullanılmış, maksimum amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı 36060 olan 100'er bağımsız koşum gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen koşumlarda elde edilen bulgular tüm algoritmalarda aynı optimum tasarıma ulaşıldığını göstermiştir. Tüm algoritmaların ulaştığı optimum tasarıma ilişkin değişkenlerin değerleri aşağıdaki Tablo 3'te sunulmaktadır. Optimum tasarım değişkenlerine göre çizilen temel detayı ise Şekil 2'de verilmektedir.

Tablo 2: Tekil temelin tasarım parametreleri.

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Normal Kuvvet	1000 kN
Eğilme Momenti	200 kNm
Kolon boyutu (x doğrultusu)	500 mm
Kolon boyutu (y doğrultusu)	250 mm
Net beton örtüsü	50 mm
Zemin emniyet gerilmesi	350 kPa
Betonun tasarım basınç dayanımı	20 MPa
Betonun tasarım çekme dayanımı	1.25 MPa
Eşdeğer basınç bloğu katsayısı	0.82
Donatının tasarım akma dayanımı	365 MPa
Donatının birim hacim ağırlığı	78.5 kN/m ³
Maksimum agrega boyutu	16 mm
Betonun birim maliyeti	178.78 ₺/m ³
Donatının birim maliyeti	1751.08 ₺/m ³
Kalıbın birim maliyeti	36.24 ₺/m ³

Tablo 3: Optimum tasarımda elde edilen tasarım değişkenlerinin değerleri.

Tasarım Değişkeni	Tasarım Değişkeni Tanımı	Optimum Değer
X1	Temelin x doğrultusundaki boyutu	1850 mm
X2	Temelin y doğrultusundaki boyutu	1850 mm
X3	Temelin kalınlığı	400 mm
X4	Asal donatının çapı (X doğrultusu)	14 mm
X5	Asal donatının sayısı (X doğrultusu)	10 adet
X6	Asal donatının çapı (Y doğrultusu)	14 mm
X7	Asal donatının sayısı (Y doğrultusu)	10 adet



Şekil 2: Minimum maliyetli tekil temelin detayı.

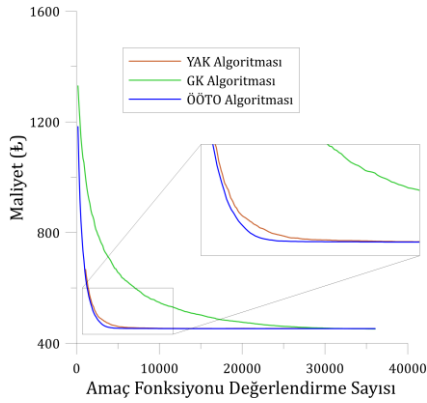
Algoritmaların başarımlarını (performanslarını) karşılaştırmak üzere algoritmaların 100'er bağımsız koşumdan elde edilen optimum tasarım maliyetlerine ve başarımlar oranlarına ilişkin istatistiksel bulgular aşağıdaki Tablo 4'te, algoritmaların optimum sonuca ulaştıkları amaç fonksiyonu değerlendirme sayılarına ilişkin istatistiksel bulgular ise Tablo 5'te verilmektedir. Algoritmaların amaç fonksiyonu değerlendirme sayılarına bağlı olarak çizilen ortalama yakınsama grafiği ise Şekil 3'te verilmektedir.

Tablo 4: Algoritmaların 100'er bağımsız koşumdan elde edilen minimum tasarım maliyetlerine ve başarımlar oranlarına ilişkin istatistiksel bulgular.

	YAK	GK	ÖÖTO
En Düşük Maliyet (₺)	450.881	450.881	450.881
Ortalama Maliyet (₺)	452.166	451.767	452.973
En Yüksek Maliyet (₺)	473.750	472.978	486.003
Standart Sapma (₺)	3.469	2.709	8.323
Başarımlar Oranı (%)	%68	%81	%94

Tablo 5: Algoritmaların optimum sonuca ulaştıkları amaç fonksiyonu değerlendirme sayıları (AFDS).

	YAK	GK	ÖÖTO
En İyi AFDS	2738	15780	2460
Ortalama AFDS	17141	30235	6060
En Yüksek AFDS	36060	36060	36060
Standart Sapma	14133	4943	7803



Şekil 3: Algoritmaların ortalama yakınsama grafiği.

Algoritmaların 100'er paralel koşumundan elde edilen ortalama maliyet değerleri incelendiğinde Guguk Kuşu Algoritmasının en düşük ortalama maliyeti verdiği görülmektedir. Bu durum paralel koşumlarda 36060 amaç fonksiyonu değerlendirmesi sonucunda söz konusu algoritmayla bulunan optimum değerlerin global optimuma daha yakın olduğunu göstermektedir. Bu durum standart sapmaları incelendiğinde de görülmektedir. En düşük standart sapmayı yine Guguk Kuşu (GK) Algoritması vermiştir. Tablo 4'te verilen başarımlar oranı paralel koşumlarda global optimuma ulaşılma yüzdesini ifade etmektedir. Başarımlar oranları incelendiğinde ÖÖTO algoritmasının en yüksek başarımlar oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum ÖÖTO algoritmasının 100 bağımsız koşumda daha çok global optimuma ulaştığını göstermektedir.

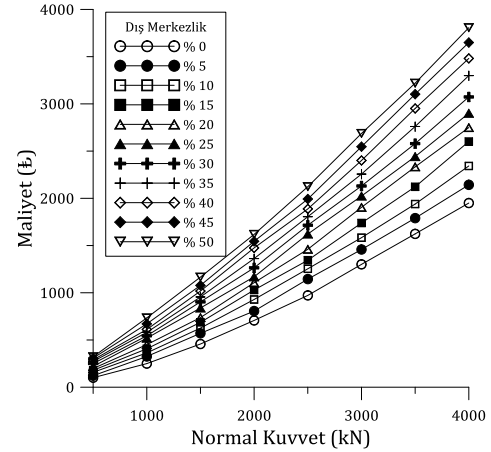
Diğer taraftan global optimuma ulaşılan amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamaları incelendiğinde ÖÖTO algoritmasının ortalama 6060 amaç fonksiyonunu değerlendirerek global optimuma ulaştığı ve bu değer diğer algoritmalarınkinden düşük olduğu görülmektedir. Bu durum ÖÖTO algoritmasının daha az amaç fonksiyonu değerlendirmesiyle global minimuma

ulaşabildiğini göstermektedir. Şekil 3'te verilen ortalama yakınsama grafikleri incelendiğinde ÖÖTO ve YAK algoritmalarının global optimuma daha hızlı yakınsadığı anlaşılmaktadır.

Burada Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritmasının, maksimum iterasyon sayısı ve popülasyon sayısına ilave olarak, özel bir parametresi içermemesinin, bu suretle söz konusu parametrenin en uygun değerinin belirlenmesinin için ek bir çaba gerektirmemesinin diğer algoritmalara göre kullanıcı bakımından optimizasyon sürecinde önemli bir üstünlük sağladığı belirtilmelidir.

4.2 Dış merkezlik ve eksenel yük düzeyinin optimum tasarıma etkisi

İkinci uygulamada eksenel yük düzeyi ve dışmerkezliğin tekil temelin optimum tasarımına etkisi bir parametrik çalışma üzerinde incelenmiştir. Bu parametrik çalışmada diğer optimizasyon parametreleri sabit alınarak eksenel yük ve dış merkezlik değiştirilerek optimum tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen parametrik çalışmadan elde edilen minimum maliyet değerleri aşağıdaki Tablo 6'da, bu değerlere ilişkin grafik ise Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4: Tekil temel minimum maliyetine normal kuvvet ve dış merkezliğin etkisi.

Tablo 6 ve Şekil 4'ten normal kuvvetin artmasıyla tekil temelin minimum maliyetinin arttığı, ayrıca dış merkezlik düzeyinin artmasıyla bu artış düzeyinin de yükseldiği görülmektedir. Normal kuvvetin küçük olduğu temellerde, dışmerkezliğin minimum maliyeti daha az artırdığı, normal kuvvetin daha yüksek olduğu temellerde ise minimum maliyetin dışmerkezliğin artmasıyla daha yüksek oranda artış gösterdiği görülmektedir.

4.3 Zemin emniyet gerilmesinin optimum tasarıma etkisi

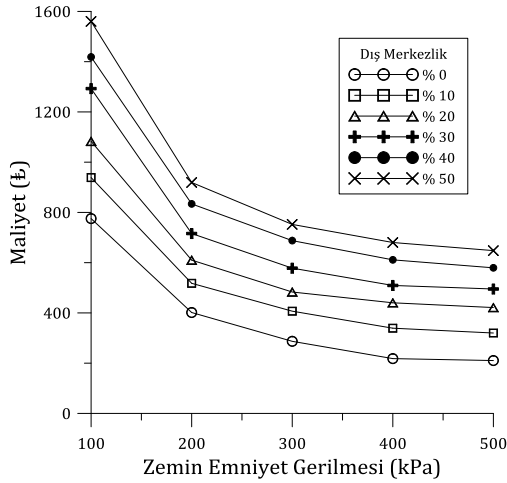
Üçüncü uygulamada, zemin emniyet gerilmesinin farklı eğilme momenti düzeylerinde tekil temelin minimum maliyetle optimum tasarımına etkisini incelemek üzere, zemin emniyet gerilmesi ve dış merkezlik oranları değiştirilerek optimum tasarımlar tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen parametrik çalışmada eksenel yük 1000 kN olarak sabit alınmıştır. Diğer tasarım parametreleri Tablo 2'de verildiği gibidir. Bu tasarımlardan elde edilen minimum maliyet değerleri aşağıdaki Tablo 7'de verilmektedir. Maliyet değerlerinin zemin emniyet gerilmesiyle değişimini gösteren grafik ise Şekil 5'te verilmektedir.

Tablo 6: Dış merkezlik ve eksenel yük düzeyine göre minimum maliyet değerleri.

Eksenel Yük (kN)	Dış merkezlik										
	% 0	% 5	% 10	% 15	% 20	% 25	% 30	% 35	% 40	% 45	% 50
500	100.56	122.19	157.21	178.48	197.86	219.90	250.65	272.90	289.55	307.67	322.05
1000	249.72	325.66	363.42	406.92	450.88	519.03	544.00	580.82	611.30	670.51	734.15
1500	457.22	570.42	626.04	686.35	737.07	838.59	903.17	955.59	1017.90	1078.16	1165.85
2000	706.65	806.33	928.67	1029.07	1106.34	1168.45	1264.14	1362.07	1474.78	1544.63	1617.84
2500	972.00	1144.69	1254.11	1344.63	1460.34	1622.30	1715.66	1805.34	1888.09	1992.92	2123.27
3000	1300.52	1458.00	1583.16	1738.79	1904.47	2023.97	2130.90	2256.74	2400.84	2546.93	2686.78
3500	1623.19	1790.32	1939.59	2122.20	2333.53	2441.87	2579.24	2760.39	2951.43	3102.39	3219.47
4000	1949.94	2142.51	2342.99	2601.06	2749.05	2900.73	3073.39	3299.38	3481.25	3649.02	3806.80

Tablo 7: Zemin emniyet gerilmesinin temelin minimum maliyetle optimum tasarımına etkisi.

Zemin Emniyet Gerilmesi (kPa)	M/N oranı (dış merkezlik)					
	% 0	% 10	% 20	% 30	% 40	% 50
100	775.53	938.79	1083.02	1292.70	1418.59	1560.20
200	401.53	517.79	610.22	715.87	834.00	919.30
300	286.86	406.91	483.09	578.13	687.69	752.33
400	218.05	339.23	440.14	509.42	611.30	680.20
500	210.38	320.11	421.28	495.21	579.55	648.11



Şekil 5: Tekil temel minimum maliyetine zemin emniyet gerilmesi ve dış merkezliğin etkisi.

Tablo 7 ve Şekil 5'ten zemin emniyet gerilmesinin artmasıyla temelin minimum maliyetinin azaldığı görülmektedir. Zemin emniyetinin düşük olduğu bölgede zemin emniyeti arttıkça maliyetin daha hızlı düştüğü, zemin emniyet gerilmesinin daha yüksek olduğu bölgede ise temel maliyetindeki düşüşün giderek azaldığı ve sabitlenme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum zemin emniyetinin 400 kPa'dan yüksek olduğu durumlarda temel maliyetinin zemin emniyetinden çok fazla etkilenmediğini göstermektedir. Farklı dış merkezliklerde maliyet azalma grafiğinin karakteristiğinin benzer olduğu, diğer taraftan tahmin edileceği üzere dış merkezliğin artmasıyla temel maliyetinin de arttığı gözlemlenmektedir.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada tek doğrultuda birleşik eğilme etkisindeki betonarme bir tekil temelin Yapay Arı Koloni (YAK), Guguk Kuşu (GK) ve Öğretme ve öğrenme tabanlı optimizasyon (ÖÖTO) algoritmalarıyla optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bir temel örneği üzerinde gerçekleştirilen optimum tasarımda tüm algoritmalar aynı optimum sonuca ulaşmışlardır.

Algoritmaların başarımları incelendiğinde Guguk Kuşu Algoritmasının en düşük ortalama maliyeti verdiği görülmüştür. Bu durum paralel koşumlarda 36060 amaç fonksiyonu değerlendirmesi sonucunda söz konusu algoritmayla bulunan optimum değerlerin global optimuma daha yakın olduğunu göstermiştir. Başarım oranları incelendiğinde ÖÖTO algoritmasının en yüksek başarım oranına sahip olduğu görülmüştür.

Diğer taraftan global optimuma ulaşılan amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamaları incelendiğinde ÖÖTO algoritmasının daha az amaç fonksiyonu değerlendirmesiyle global minimuma ulaşabildiğini anlaşılmıştır. Algoritmaların ortalama yakınsama grafikleri ÖÖTO ve YAK algoritmalarının global optimuma daha hızlı yakınsadığını göstermiştir.

Tekil temelin normal kuvvet düzeyinin ve dışmerkezliğin minimum maliyete etkisinin incelendiği parametrik çalışmada normal kuvvetin artmasıyla tekil temelin minimum maliyetinin arttığı, ayrıca dış merkezlik düzeyinin artmasıyla bu artış düzeyinin de yükseldiği anlaşılmıştır. Normal kuvvetin küçük olduğu temellerde, dışmerkezliğin minimum maliyeti daha az artırdığı, normal kuvvetin daha yüksek olduğu temellerde ise minimum maliyetin dışmerkezliğin artmasıyla daha yüksek oranda arttığı görülmüştür.

Zemin emniyet gerilmesinin ve dışmerkezliğin temelin minimum maliyetine etkisinin incelendiği parametrik çalışmada, zemin emniyet gerilmesinin artmasıyla temelin minimum maliyetinin azaldığı görülmüştür. Zemin emniyetinin düşük olduğu bölgede zemin emniyeti arttıkça maliyetin daha hızlı düştüğü, zemin emniyet gerilmesinin daha yüksek olduğu bölgede ise temel maliyetindeki düşüşün giderek azaldığı ve sabitlenme eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum zemin emniyetinin 400kPa'dan yüksek olduğu durumlarda temel maliyetinin zemin emniyetinden çok fazla etkilenmediğini göstermiştir. Farklı dış merkezliklerde maliyet azalma grafiğinin karakteristiğinin benzer olduğu, bununla birlikte tahmin edileceği üzere dışmerkezliğin artmasıyla temel maliyetinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Burada ele alınan örnekler, gerçekte karşılaşılan iki eksenli moment etkisini, kolonun temelin tam ortasına oturmadığı

durumları dikkate almamaktadır. Elde edilen sonuçların bu durum dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekir.

6 Kaynaklar

- [1] Öztürk HT, Durmuş A. "Optimum cost design of RC columns using artificial bee colony algorithm". *Structural Engineering and Mechanics*, 45(5), 643-654, 2013.
- [2] Öztürk HT, Durmuş A, Durmuş A. "Optimum design of a reinforced concrete beam using artificial bee colony algorithm". *Computers and Concrete*, 10(3), 295-306, 2012.
- [3] Govindaraj V, Ramasamy JV. "Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using genetic algorithms". *Computers & Structures*, 84(1), 34-48, 2005.
- [4] Sahab MG, Ashour AF, Toropov VV. "Cost optimisation of reinforced concrete flat slab buildings". *Engineering Structures*, 27(3), 313-322, 2005.
- [5] Öztürk HT. "Optimum design of rc cantilever retaining wall using artificial bee colony and cuckoo search algorithms". *12th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Istanbul, Turkey, 21-23 September 2016.
- [6] Paya-Zaforteza I, Yepes V, Hospitaler A, Gonzalez-Vidosa, F. "CO₂-optimization of reinforced concrete frames by simulated annealing". *Engineering Structures*, 31(7), 1501-1508, 2009.
- [7] Öztürk HT, Türkeli E, Durmuş A. "Optimum design of RC shallow tunnels in earthquake zones using artificial bee colony and genetic algorithms". *Computers and Concrete*, 17(4), 435-453, 2016.
- [8] Khajehzadeh M, Taha MR, Eslami M. "Modified particle swarm optimization for optimum design of spread footing and retaining wall". *Journal of Zhejiang University-Science A*, 12(6), 415-427, 2011.
- [9] Khajehzadeh M, Taha MR, Eslami M. "A new hybrid firefly algorithm for foundation optimization". *National Academy Science Letters*, 36(3), 279-288, 2013.
- [10] Camp CV, Assadollahi A. "CO₂ and cost optimization of reinforced concrete footings using a hybrid big bang-big crunch algorithm". *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48(2), 411-426, 2013.
- [11] Camp CV, Assadollahi A. "CO₂ and cost optimization of reinforced concrete footings subjected to uniaxial uplift". *Journal of Building Engineering*, 3, 171-183, 2015.
- [12] Karaboga D, Basturk B. "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm". *Journal of Global Optimization*, 39(3), 459-471, 2007.
- [13] Teodorovic D, Dell'Orco M. "Bee colony optimization—a cooperative learning approach to complex transportation problems". *Advanced OR and AI Methods in Transportation*, 51-60, 2005.
- [14] Yang XS. "Engineering optimizations via nature-inspired virtual bee algorithms". *Artificial Intelligence and Knowledge Engineering Applications: A Bioinspired Approach*, 317-323, 2005.
- [15] Pham DT, Haj Darwish A, Eldukhri EE. "Optimisation of a fuzzy logic controller using the bees algorithm". *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 1(2), 250-264, 2009.
- [16] Yang XS, Deb S. "Engineering optimisation by cuckoo search". *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 1(4), 330-343, 2010.
- [17] Mohamad AB, Zain AM, Nazira Bazin NE. "Cuckoo search algorithm for optimization problems—a literature review and its applications". *Applied Artificial Intelligence*, 28(5), 419-448, 2014.
- [18] Rao RV, Savsani VJ, Vakharia DP. "Teaching-learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems". *Computer-Aided Design*, 43(3), 303-315, 2011.
- [19] Rao RV, Savsani VJ, Vakharia DP. "Teaching-learning-based optimization: an optimization method for continuous non-linear large scale problems". *Information Sciences*, 183(1), 1-15, 2012.
- [20] Ersoy U, Özcebe G. *Betonarme*. İstanbul, Türkiye, Evrim, 2004.
- [21] Türk Standartları Enstitüsü. "TS500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları". Ankara, Türkiye, 2000.
- [22] Doğançün A. *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*. 11. Baskı, İstanbul, Türkiye, Birsen, 2014.
- [23] Deb, K. "An efficient constraint handling method for genetic algorithms". *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 186(2), 311-338, 2000.