



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KAZIKLI RADYE TEMELLERİN**  
**TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN**  
**SEZGİSEL YÖNTEMLERLE**  
**ARAŞTIRILMASI**

**RAZİYE BOZKURT**  
**DOKTORA TEZİ**

**HAZİRAN-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Raziye BOZKURT tarafından hazırlanan “**Kazıklı Radye Temellerin Tasarımını Etkileyen Faktörlerin Sezgisel Yöntemlerle Araştırılması**” adlı tez çalışması 09/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi. Atila DEMİRÖZ

.....

#### Üye

Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

.....

#### Üye

Prof. Dr. Murat OLGUN

.....

#### Üye

Doç. Dr. Serdar ÇARBAŞ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
LEE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Raziye BOZKURT

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

### KAZIKLI RADYE TEMELLERİN TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN SEZGİSEL YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

**Raziye BOZKURT**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ**

**2022, 242 Sayfa**

**Jüri**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ**

**Prof. Dr. Mustafa YILDIZ**

**Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ**

**Prof. Dr. Murat OLGUN**

**Doç. Dr. Serdar ÇARBAŞ**

Bu tez çalışmasında ilk olarak, kazıklı radye temeller ile ilgili bir literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra kazıklı radye temeller için, Randolph matematiksel modeli benimsenerek, yazılan hesap kodu ile değiştirilen temel sistem özellikleri üzerinden oluşan maksimum oturma değerleri ile boyut etkisi araştırılmıştır. Analizlerde gerçek boyutlu yapıyı tamamlanan bir projenin verileri kullanılmıştır. Analizlerde, kazıklar arası mesafe, kazık sayısı ve yerleşimi ile radyeye gelen üniform gerilme değiştirilerek, oluşan oturma miktarları incelenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen maksimum oturma değerleri grafiksel olarak tanımlanmıştır. Tez çalışmasının ikinci bölümünde ise belirlenen amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonlar doğrultusunda iki farklı algoritma da optimizasyon kodları yazılmış ve belirlenen tasarım uzayında optimum boyutlar tespit edilmiştir. Analizlerde yapıyı tamamlanan 3 farklı gerçek boyutlu projenin zemin ve yapı parametreleri kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonların kodlandığı algoritmalar ise “Yapay Arı Koloni Algoritması” ve “Harmoni Arama Algoritması”dır. Amaç fonksiyonunda beton hacminin minimuma indirilmesi benimsenmiştir. Boyutların optimizasyonu araştırıldığı için, 8 farklı sınırlayıcı fonksiyon ile optimizasyon analizleri yapılmıştır. Optimum boyutlara göre minimum temel beton hacmi hesaplanmış ve grafiksel olarak analiz sonuçları sunulmuştur. Ayrıca düzenlenen Randolph hesap kodu ve yazılan algoritma tabanlı optimizasyon kodlarının doğruluk analizleri yapılmıştır. Doğruluk analizleri literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; kazıklar arası mesafenin ve kazık çapının artırılması, oturma miktarında azalmaya, radyeye etki eden gerilmenin artırılması durumunda ise oturma miktarında artış meydana gelmiştir. Optimizasyon analizlerinde ise kullanılan beton hacminde, gerçek boyutlu birinci proje için YAKA analizleri ile %27, HAA analizleri ile %31’lik bir ekonomi, ikinci proje için YAKA analizleri ile %39.5, HAA analizleri için %42’lik bir ekonomi ve üçüncü proje için YAKA analizleri ile %24, HAA analizleri ile %27’lik bir ekonomi elde edilmiştir. Algoritma sonuçları kıyaslanırsa, YAKA ve HAA analizleri arasında uyumlu sonuçlar gözlemlenmiş ve HAA analizleri ile malzeme verimliliği açısından daha optimum sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay arı koloni algoritması, Harmoni arama algoritması, Kazıklı radye temeller, Randolph metodu.

## ABSTRACT

### PhD THESIS

# I INVESTIGATION OF THE FACTORS AFFECTING THE DESIGN OF PILED RAFT FOUNDATIONS USING HEURISTIC METHODS

**Raziye BOZKURT**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Civil Engineering**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Atila DEMİRÖZ**

**2022, 242 Pages**

**Jury  
Asst. Prof. Dr. Atila DEMİRÖZ  
Prof. Dr. Mustafa YILDIZ  
Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ  
Prof. Dr. Murat OLGUN  
Assoc. Prof. Serdar ÇARBAŞ**

In this thesis, first of all, a literature review on piled raft foundations was made. Then, by adopting the Randolph mathematical model of piled raft foundations, the maximum settlement values and the size effect were investigated over the basic system properties changed with the written calculation code. In the analysis, the data of a project whose real-size construction was completed were used. In the analyses, the spacing between the piles, the number and placement of the piles and the uniform load on the raft were changed and the settlement amounts were examined. The maximum settlement values obtained as a result of the analysis are defined graphically. In the second part of the thesis, optimization codes were written for two different algorithms in line with the determined objective function and limiting functions, and optimum dimensions were determined in the determined design space. Soil and building parameters of 3 different real-size projects, whose construction was completed, were used in the analyses. The algorithms in which the objective function and limiting functions are coded are “Artificial Bee Colony Algorithm” and “Harmony Search Algorithm”. In the objective function, minimizing the concrete volume is adopted. Since the optimization of the dimensions was investigated, optimization analyzes were carried out with 8 different limiting functions. The minimum fundamental concrete volume was calculated according to the optimum dimensions and the analysis results were presented graphically. In addition, the accuracy analyzes of the Randolph calculation code and the algorithm-based optimization codes written were made. Accuracy analyzes were compared with studies in the literature. According to the analysis results; Increasing the distance between the piles and the pile diameter resulted in a decrease in the amount of settlement, and an increase in the amount of settlement occurred when the stress on the raft was increased. On the other hand, in the volume of concrete used in the optimization analysis, an economy of 27% for the full-size first project with YAKA analyzes, 31% for the HAA analyzes, 39.5% for the second project with YAKA analyzes, 42% for the HAA analyzes and for the third project an economy of 24% was obtained with the YAKA analysis and 27% with the HAA analysis. Comparing the results of the algorithms, consistent results were observed between YAKA and HAA analyzes and more optimum results were obtained in terms of material efficiency with HAA analyzes.

**Keywords:** Artificial bee colony algorithm, Harmony search algorithm, Piled raft foundations, Randolph method



*Sevgili Ailem'e.*

## ÖNSÖZ

Uygulanan yöntemler ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bilime katkılar sunacağına inandığım bu çalışmanın, birçok aşamasında emeği geçen ve destek olan, zamanını ayıran, danışman hocam, Dr. Öğr. Üyesi Atıla Demiröz'e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yakın zaman önce aramızdan ayrılan, tanıdığım için çok mutlu olduğum, akademisyenliğini ve mesleğe olan bakış açısını her zaman örnek alacağım çok kıymetli merhum danışman hocam Prof. Dr. Özcan Tan'a teşekkür ediyorum ve sonsuz saygılarımı sunuyorum.

Beni yönlendiren, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli tez izleme komitesi hocalarım Prof. Dr. Murat Olgun ve Doç. Dr. Serdar Çarbaş'a teşekkür ederim ve saygılarımı sunarım. Çalışmanın birçok aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen hocalarım Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı Erkan'a, Prof. Dr. Bahriye Akay'a ve Dr. Öğr. Üyesi Ömür Şahin'e teşekkür ederim ve saygılarımı sunarım.

Lisans eğitimimin başlamasından bugüne kadar gelen bu süreçte, geoteknik, optimizasyon ve algoritmaların çalışma mantığı üzerine birçok şey öğrenmemi sağlayan, bu yolda ilerlememi tavsiye eden, akademisyenliğini hep örnek alacağım, çok kıymetli hocalarım, Prof. Dr. Niyazi Uğur Terzi'ye ve Prof. Dr. Mustafa Sönmez'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Doktora eğitimim sürecinde bana destek olan, kıymetli arkadaşlarım Öğr. Gör. Mürüvet Ünlü Özsoy, Doç. Dr. Volkan Soner Özsoy'a, İnşaat Mühendisi Eda Güneş'e ve Bilgisayar Mühendisi Alper Deniz'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında yer verdiğim projelerin temin edilmesinde büyük emeği geçen İnşaat Mühendisi Günkut Barka'ya, İnşaat Mühendisi Özkan Yalçın'a, Jeoloji Mühendisi Murat Dinçer'e, BÜRO İSTANBUL'a ve TOKER A.Ş' ye kıymetli destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Aslında en büyük teşekkürüm aileme. Nasıl teşekkür etsem az olur diye düşünüyorum. Öncelikle her zaman yanımda olan, ilerlemem için desteklerini esirgemeyen, motive eden, haklarını asla ödeyemeyeceğim çok kıymetli canım annem Müzeyyen Altınsoy, babam Mahir Altınsoy ve kardeşim Servet Altınsoy'a teşekkürlerimi sunarım.

En özel teşekkürümde beni bu yolda her zaman destekleyen, sevgisi, sabrı ve anlayışı ile ilerlemem için elinden geleni yapan, hep yanımda olan kıymetli sevgili eşim Uzm. Dr. Özkan Bozkurt'a, en kıymetlilerim kızım Miray Neva Bozkurt, kızım Feray Feyza Bozkurt ve oğlum Muhammed Tuğrul Bozkurt'a çok teşekkürlerimi sunarım.

**Raziye BOZKURT**  
**KONYA-2022**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı ve Önemi .....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>5</b>
2.1. Kazıklı Radye Temel Sistemleri Literatür Çalışması .....	5
2.2. Algoritma Uygulamaları Yapılan Literatür Çalışması.....	13
<b>3. RADYE TEMELLER.....</b>	<b>16</b>
3.1. Giriş .....	16
3.2. Radye Temellerde Taşıma Gücünün Hesaplanması .....	16
3.3. Radye Temellerin Tasarım Yöntemleri .....	17
3.3.1. Yatak katsayısı yöntemi.....	17
3.3.2. Basit gerilme dağılışı yöntemi .....	19
3.3.3. Elastik yarı uzay yöntemi .....	20
3.3.4. Eşlenik yöntemi .....	21
3.3.5. Psödo-eşlenik yöntem .....	21
3.3.6. Çoklu parametre yöntemi.....	21
3.3.7. Sonlu elemanlar yöntemi .....	22
3.4. Radye Temellerde Farklı Oturmaların Hesabı.....	22
3.5. Radye Temellerin Göçmesi .....	23
3.5.1. Genel kayma göçmesi .....	23
3.5.2. Zımbalama göçmesi .....	24
3.5.3. Bölgesel kayma göçmesi .....	25
3.6. Radye Temellerin Nihai Taşıma Gücü .....	26
<b>4. KAZIKLI TEMELLER .....</b>	<b>28</b>
4.1. Kazıklı Temellerin Kullanım Alanları .....	28
4.2. Kazıkların Taşıma Gücü .....	30



4.2.1. Kazık taşıma gücünün statik kazık formülleri ile tespiti .....	31
4.2.2. Kazık taşıma gücünün arazi deney sonuçları ile tespiti .....	35
4.2.3. Kazık taşıma gücünün kazık yükleme deneyleri ile tespiti.....	37
4.2.4. Kazık taşıma gücünün dinamik kazık formülleri hesabı .....	38
4. 3. Kazıkların Grup Davranışı.....	39
<b>5. KAZIKLI RADYE TEMELLER.....</b>	<b>41</b>
5.1. Kazıklı Radye Temellerin Uygulandığı Alanlar .....	42
5.2. Kazıklı Radye Temellerin Taşıma Gücünün Belirlenmesi ve Grup Etkisi.....	42
5.3. Kazıklı Radye Temellerin Analiz Yöntemleri .....	43
5.3.1. Basitleştirilmiş hesap yöntemleri.....	46
5.3.1.1. Poulos ve Davis yöntemi .....	47
5.3.1.2. Randolph yöntemi.....	47
5.3.1.3. Poulos-Davis-Randolph yöntemi (PDR) .....	47
5.3.1.4. Burland yöntemi .....	48
5.3.2. Yaklaşık analiz yöntemleri .....	48
5.3.2.1. Yaylar üzerinde şerit temel yaklaşımı (GASP).....	48
5.3.2.2. Yaylar üzerinde plak temel yaklaşımı (GARP) .....	49
5.3.3. İleri sayısal analiz yöntemleri .....	49
5.3.3.1. Sınır eleman yöntemi .....	49
5.3.3.2. Basitleştirilmiş sonlu elemanlar yöntemi.....	50
5.3.3.4. Üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi .....	50
5.4. Kazıklı Radye Temelleri Oturma Davranışının İncelenmesi.....	50
<b>6. METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI .....</b>	<b>51</b>
6.1. Optimizasyon .....	51
6.2. Harmoni Arama Algoritması .....	53
6.2.1. Tanım ve genel kavramlar .....	54
6.2.2. Harmoni arama algoritması işlem adımları .....	56
6.2.3. Harmoni arama algoritması ile müzik notaları arasındaki ilişkisi .....	57
6.3. Yapay Arı Kolonisi Algoritması.....	58
6.3.1. Tanım ve genel kavramlar .....	59
6.3.2. Yapay arı kolonisi algoritması işlem adımları .....	61
6.3.3. Arıların besin araması süreci ile yapay arı kolonisi algoritmasının ilişkisi..	64

**7. KAZIKLI RADYE TEMELLERİN RANDOLPH YÖNTEMİYLE, OTURMA DAVRANIŞININ DİKKATE ALINARAK, TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ VE TEMEL BOYUTLARININ OPTİMUM TASARIMI..... 65**

7.1. Giriş .....	65
7.2. Randolph Yöntemi .....	65
7.3. Kazıklı Radye Temellerin Oturma Esaslı Tasarımında, Etki Eden Bazı Parametrelerin Randolph Hesap Yöntemi ile İncelenmesi .....	69
7.4. Analizlerde Kullanılan Kazıklı Radye Temel Hesap Modeli .....	70
7.5. Kullanılan Kazıklı Radye Temel Modelinin Tasarım Değişkenleri .....	70
7.5.1. Kazıklar arası mesafe değişiminin oturma davranışına etkisi .....	71
7.5.2. Radyeye gelen gerilme değişiminin oturma davranışına etkisi .....	73
7.5.3. Kazık sayısındaki değişimin oturma davranışına etkisi.....	75

**8. KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMLERİNİN METASEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE OPTİMİZASYONU, OPTİMUM DEĞERLERİNİ BULMAK İÇİN SEÇİLEN ÖRNEK PROJELER VE GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLER..... 78**

8.1. Kazıklı Radye Temellerin Optimum Tasarımı ve Algoritmaları.....	78
8.2. Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması .....	78
8.3. Tasarım Değişkenlerinin Tanımlanması .....	79
8.3.1. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları.....	80
8.4. Sınırlayıcıların Tanımlanması.....	80
8.4.1. Taşıma kapasitesi azaltma faktörü sınırlayıcısı .....	81
8.4.2. Zemin-radye rijitlik oranı sınırlayıcısı .....	82
8.4.3. Radye rijitlik oranı sınırlayıcısı .....	83
8.4.4. Oturma miktarı sınırlayıcısı .....	84
8.4.5. Kazıklı radye temel boyutlandırma sınırlayıcısı.....	86
8.4.6. Etki faktörü sınırlayıcısı.....	87
8.4.7. Radyenin taşıma kapasitesi sınırlayıcısı .....	89
8.4.8. Kazık verimliliği sınırlayıcısı .....	90
8.5. Algoritma Parametreleri .....	92
8.6. Randolph Hesap Analizleri ve Metasezgisel Algoritma Analizlerinin Matematiksel Olarak Doğrulama Analizleri.....	94
8.6.1. Randolph hesap yönteminin doğrulama analizleri ve literatür ile karşılaştırılması.....	95
8.6.2. Optimizasyon analizlerinin literatür ile karşılaştırılması ve doğrulama analizleri.....	97

8.7. Gerçek Boyutlu Üç Farklı Projenin, YAKA ve HAA Metasezgisel Algoritmaları ile Optimizasyonu .....	99
8.7.1. Gerçek boyutlu birinci projenin YAKA ile optimizasyonu .....	100
8.7.2. Gerçek boyutlu ikinci projenin YAKA ile optimizasyonu .....	119
8.7.3. Gerçek boyutlu üçüncü projenin YAKA ile optimizasyonu.....	136
8.7.4. Gerçek boyutlu birinci projenin HAA ile optimizasyonu.....	149
8.7.5. Gerçek boyutlu ikinci projenin HAA ile optimizasyonu .....	164
8.7.6. Gerçek boyutlu üçüncü projenin HAA ile optimizasyonu.....	175
8.8. Projelerin YAKA ve HAA Optimizasyon Analizleri Sonucunda Elde Edilen Optimum Hacim Değerlerinin Kıyaslanması .....	187
8.8.1. Birinci projenin YAKA ve HAA için optimum hacim değerlerinin kıyaslanması.....	188
8.8.2. İkinci projenin YAKA ve HAA için optimum hacim değerlerinin kıyaslanması.....	196
8.8.3. Üçüncü projenin YAKA ve HAA için optimum hacim değerlerinin kıyaslanması.....	202
<b>9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>209</b>
9.1. Sonuçlar .....	209
9.1.1. Kazıklı radye temellerin boyut etkisinin Randolph yöntemi ile analiz sonuçları.....	209
9.1.2. Kazıklı radye temellerin algoritmalarla optimum boyut ve hacim değerlerinin analiz sonuçları .....	211
9.1.2.1. Birinci projenin optimizasyon analiz sonuçları .....	211
9.1.2.2. Gerçek boyutlu ikinci projenin optimizasyon analiz sonuçları .....	212
9.1.2.3. Gerçek boyutlu üçüncü projenin optimizasyon analiz sonuçları .....	213
9.1.3. Genel sonuçlar .....	215
9.2. Öneriler .....	215
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>217</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>227</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\alpha$	: Kazıklar arasındaki etkileşim katsayısı
$\alpha_{azaltma}$	: Kapasite azaltma faktörü
$A_{kazık}$	: Kazık alanı
$A_{kazıkg grubu}$	: Kazık grubunun alanı
$A_{radye}$	: Radye temel alanı
$A_T$	: Temel alanı
$A_{uç}$	: Kazık uç alanı
$A_{yan}$	: Kazık yan yüzey alanı
$B_{grupgenişliği}$	: Kazık grubunun genişliği
$B_{kiriş}$	: Kiriş genişliği
$B_{kg}$	: Kazık grubunun genişliği
$B_{radye}$	: Radyenin genişliği
$c$	: Kohezyon
$c_u$	: Drenajsız kayma mukavemeti
$\delta$	: Farklı oturmanın toplam oturmaya oranı
$\delta_s$	: Kazık ve zemin arasında ki çevre sürtünmesi açısı
$D_{fk}$	: Kazık temelin derinliği
$D_{fr}$	: Radye temel derinliği
$Diff(S)$	: Farklı oturma miktarı
$D_{kazık}$	: Kazık çapı
$D_{kazıktaban}$	: Kazık taban genişliği
$e_x-e_y$	: Eksantrisite (x ve y eksen)
$E_bI_b$	: Yapı ve temelin radye genişliğine dik yönde oluşan eğilme rijitliği
$E_BI_B$	: Yapının radyenin genişliğine dik yönde eğilme rijitliği
$E_{kazık}$	: Kazığın Elastisite modülü
$E_rI_r$	: Radye temelin genişliğine dik yönde oluşan eğilme rijitliği
$E_{radye}$	: Radye temelin elastisite modülü
$E_{sıkışabilirlik}$	: Zemin sıkışabilirlik modülü
$E_{zemin}$	: Zeminin elastisite modülü
$E_{zeminrijitlik}$	: Zeminin rijitlik modülü
$f$	: Temel boyutlarındaki zemin dayanımına bağlı bir sabit
$F_\alpha$	: Kazıkların zemini iyileştirme faktörü
$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$	: Derinlik katsayıları
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$	: Yük-eğim katsayıları
$FF$	: Dolgu faktörü
$\gamma$	: Zeminin doğal birim hacim ağırlığı
$g_i(x)$	: Sınırlayıcı fonksiyonlar
$g_x(1)$	: Taşıma kapasitesi azaltma faktörü sınırlayıcısı
$g_x(2)$	: Zemin-radye rijitlik oranı sınırlayıcısı
$g_x(3)$	: Radye temel rijitlik oranı sınırlayıcısı
$g_x(4)$	: Oturma miktarı sınırlayıcısı
$g_x(5)$	: Kazıklı radye temel boyutlandırma sınırlayıcısı
$g_x(6)$	: Etki faktörü sınırlayıcısı
$g_x(7)$	: Radyenin taşıma kapasitesi sınırlayıcısı
$g_x(8)$	: Kazık verimliliği sınırlayıcısı
$G$	: Zeminin kayma modülü
$G_{avg}$	: Zeminin ortalama kayma modülü

$G_{kt}$	: Kazık ucundaki zeminin kayma modülü
HM	: Harmoni matrisi
HMCR	: Harmoni matrisini dikkate alma oranı
HMS	: Harmoni matrisi kapasitesi
$H_{tokmak}$	: Tokmağın düşme yüksekliği
I	: Etki faktörü
$I_b$	: Birim uzunluk için yapının kenarına dik yöndeki atalet momenti
$I_{KR}$	: Kirişin atalet momenti
$I_s$	: Kazık tabanının şekil faktörü
$I_x$	: Atalet momenti (x eksenini)
$I_y$	: Atalet momenti (y eksenini)
$k_v$	: Yatak katsayısı
$k_{0.3}$	: Plaka yükleme deneyi yatak katsayısı
$k_1, k_2$	: Temel şekil katsayıları
$K_{bi}$	: Kazığın taban rijitliği
$K_{kazık}$	: Kazık temelin rijitliği
$K_{radye}$	: Radye temelin rijitliği
$K_{kr}$	: Kazıklı radye temelin rijitliği
$K_s$	: Kazık şaftına etki eden ortalama yatay toprak basıncı katsayısı
$K_{tk}$	: Bir kazığın rijitliği
$K_{zeminradye}$	: Zemin-radye rijitlik oranı
$L_{grupuzunluğu}$	: Kazık grubunun uzunluğu
$L_{kazık}$	: Kazık uzunluğu
$L_{radye}$	: Radye temelin uzunluğu
$M_r$	: Rastgele seçilmiş bir noktaya ait moment
$M_x$	: $P \times e_x$ kolon yüklerinden kaynaklanan x eksenini momenti
$M_y$	: $P \times e_y$ kolon yüklerinden kaynaklanan y eksenini momenti
MR	: Modifikasyon oranı
$\mu_1, \mu_0$	: Etki faktörleri
$\mu_g$	: Üçüncü boyut düzeltmesi
$\mu_d$	: Derinlik düzeltmesi
$n_{kazık}$	: Kazıklı radye temel sistemindeki kazık sayısı
$n_x$	: x doğrultusundaki kazık sayısı
$n_y$	: y doğrultusundaki kazık sayısı
$\eta$	: Kazık grup verimliliği
$N_{60}$	: Kazık uç noktasında ki ortalama standart penetrasyon sayısı
$N_c, N_q, N_\gamma$	: Taşıma gücü katsayıları
$N_p$	: Matris elemanı sayısı
RAR	: Ton ayarlama oranı
$P'_0$	: Temel tabanındaki düşey efektif gerilme
$p_k$	: Kazık şaft kesitinin çevre uzunluğu
PAR	: Ton ayarlama oranı
$P_c$	: Çaprazlama olasılığı (oranı)
$P_{grupkazık}$	: Kazık grubunun taşıdığı yük
$P_{kazık}$	: Kazıkların taşıdığı yük
$P_m$	: Mutasyon olasılığı (oranı)
$P_{kç}$	: Kazık çevresi
$P_{radye}$	: Radye temelin taşıdığı yük
PS	: Popülasyon sayısı
$P_T$	: Kolonlardan gelen yükler toplamı

$R_c$	: Oluşturma yarıçapı
$q_u$	: Temelin nihai taşıma kapasitesi
$q_{uç}$	: Kazık uç direnci
$q_{yan}$	: Çevrede birim alana etki eden sürtünme
$q_{zeminbasıncı}$	: Zemine gelen basınç
$Q_{(v)}$	: Grup etkisi olmaksızın kazıkların bireysel olarak taşıma gücü
$Q_F$	: Kazık taşıma kapasitesi (Kazığa etki eden yük miktarı)
$Q_{g(v)}$	: Kazık grubunun taşıma gücü
$Q_{i,limit}$	: i. tekil kazığın taşıma kapasitesidir.
$Q_{kazık}$	: Tek bir kazığın izin verilebilir yük taşıma kapasitesi
$Q_{limit}$	: Radyeye gelen üniform gerilme
$Q_{rkf}$	: Kazıklı radye temelin toplam taşıma gücü
$Q_{sınır}$	: Kazığın sınır taşıma kapasitesi
$Q_u$	: Düşey yük
$Q_{uç}$	: Kazık uç direnci ile taşınan yük
$Q_{yan}$	: Çevre sürtünmesi ile taşınan yük
$Q_{yayıllı}$	: Yayılı yük
$rand(0,1)$	: 0 ile 1 arasındaki rastgele sayı
$r_b$	: Kazık tabanının yarıçapını
$r_{kazık}$	: Kazığın yarıçapı
$V'$	: Seçilen derinliğe göre oluşan efektif jeolojik yük
$V_0$	: Radyeye etki eden gerilme
$S$	: Sabitleme olasılığı
$S_g(e)$	: Kazık grubunun elastik oturması
$S_{kazık}$	: Tek bir kazıkta oluşan oturma
$S_{kg}$	: Kazık grubunda oluşan toplam oturma
$S_{max}$	: Toplam maksimum oturma
$S_{radyeoturma}$	: Radyenin oturma miktarı
$S_{refü}$	: Refü, kazığın zemine giriş miktarı
$S_{toplam}$	: Toplam oturma miktarı
$S_{x-y}$	: Kazıklar arası mesafe
$t_{radye}$	: Radye temelin kalınlığı
$U_i$	: Düzeltme faktörü
$V(x)$	: Beton hacmi
$V_{ij}$	: Yeni kaynak
$v$	: Poisson oranı
$v_{kazık}$	: Kazığın Poisson oranı
$v_{radye}$	: Radyenin Poisson oranı
$v_{zemin}$	: Zeminin Poisson oranı
$W_{kazık}$	: Kazığın kendi ağırlığı
$W_{tokmak}$	: Tokmağın ağırlığı
$x(1)$	: Kazık çapı tasarım değişkeni
$x(2)$	: Kazık uzunluğu tasarım değişkeni
$x(3)$	: Radye kalınlığı tasarım değişkeni
$x_i$	: i. Eleman
$x_{i,j}$	: Olası çözümler
$x_j^{max}$	: j. parametrenin üst sınırı
$x_j^{min}$	: j. parametrenin alt sınırı
$x^1, x^u$	: Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları

## Kısaltmalar

ACO	: Karınca Koloni Algoritması
ASA	: Altın Sinüs Algoritması
BS	: Besin Sınırı
CPT	: Konik Penetrasyon Deneyi
GARP	: Yaylar Üzerinde Plak Temel Yaklaşımı
GASP	: Yaylar Üzerinde Şerit Temel Yaklaşımı
HAA	: Harmoni Arama Algoritması
SKA	: Sinüs Kosinüs Algoritması
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
YAKA	: Yapay Arı Koloni Algoritması
YSA	: Yapay Sinir Ağı



## 1. GİRİŞ

Yapıdan gelen hareketli ve sabit yüklerin, temel sisteminden, zemine güvenle aktarılması önemli bir konudur. Can ve mal güvenliği için, doğru tasarımlar seçilmeli ve hem güvenilir hem de ekonomik çözümler sunulmalıdır. Bilindiği üzere, temeller zemine oturduğu derinliğe bağlı olarak yüzeysel ve derin temeller olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Zemin ve yapı şartlarının uygun olduğu durumlarda yüzeysel temeller tercih edilmektedir. Fakat, günümüzde yaygın olarak tercih edilen yüksek katlı yapılar nedeni ile, derin temel tasarımları yapılmaktadır. Üst yapıdan gelen yükün fazla olduğu, maliyetin çok yüksek olduğu yapılarda, güvenliğin yanı sıra optimum çözümlerde sunabilen “Kazıklı Radye Temeller” tercih edilmektedir (Birand, 2007).

Kazıklar, radye temelin tek başına yeterli olmadığı durumlarda, yapıdan gelen yükün güvenle taşınmasının yanı sıra, zemin özelliklerini pozitif yönde etkileyerek güvenli çözümler sunmaktadır. Ayrıca kazıklar, zeminde oluşabilecek farklı oturmalarında önüne geçmektedir. Bu nedenle, radye temel ile birlikte çalışması istenen, uygun sayıda ve boyutlarda kazıklı bir sistemin tasarlanması gerekir. Bu noktada ekonomik ve güvenilir çözümler sunan en optimum çözümün bulunması gerekir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, “Kazıklı Radye Temellerin” tasarım kriterleri optimum çözüm sunması açısından araştırılmıştır.

Yük taşıma kapasitesi ve oturma davranışı göz önünde bulundurularak, kazıklı radye temel boyutlarının birbirleri üzerindeki etkileri grafiksel olarak yorumlanmıştır. Matematik model olarak oturma esaslı çalışan Randolph yöntemi seçilmiştir. Optimum çözümlerin elde edilebilmesi için, “Harmoni Arama Algoritması” ve “Yapay Arı Koloni Algoritması” seçilmiştir. Elde edilen algoritma sonuçları birbirleriyle ayrıntılı bir şekilde kıyaslanmıştır. Yazılan optimizasyon kodları üç farklı gerçek boyutlu proje üzerinde uygulanarak, optimum çözümler araştırılmıştır.

### 1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Gelişen teknoloji, yüksek katlı ve ağır binaların kullanımını arttırmıştır. Bu durum hem güvenilir hem de ekonomik çözümlerin araştırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Üst yapı maliyetinin maksimum olduğu yüksek yapılarda, güvenlik kadar temel sisteminin tasarımında minimum maliyeti de sağlayan optimum çözümlerin bulunması gerekir. Tek başına radye temelin yeterli olmadığı düşünülerek geliştirilen kazıklı radye temel sistemi sayesinde, temelde oluşabilecek farklı oturmalar engellenerek, zeminde



iyileştirme sağlanmakta, deprem anında dayanım artırılmakta ve yapıdan temele, temelden de zemine aktarılan, hareketli ve hareketsiz yükler temel sistemi tarafından güvenle taşınmaktadır (Birand, 2007).

Kazıklı radye temel sistemlerinin tasarımındaki en büyük belirsizlik, temel boyutlarının doğru seçilip seçilememesidir. Uygun radye genişliğinde, yeterli sayıda kazık seçilerek, kazıklar arası mesafenin, kazık boyu ve çapının doğru tespit edilmesi önemli hususlardır. Aynı zamanda üst yapı yükü, zeminin heterojen yapısı da göz önüne alınırsa doğru boyutlandırma ve dizayn daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalar ve çalışmalarda azdır.

Mühendislik problemlerinde, çok sayıda ön boyutlandırma ve analizler yapılmaktadır. Amaç maksimum güvenliği, minimum ekonomi ile sağlamaktır. Doğru tasarım boyutlarının en ekonomik yoldan seçilmesi gerekir. Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan problemlerde de bu çözüm beklenmektedir. Yani, sık karşılaşılan geoteknik yapılarının tasarımı esnasında stabilite koşullarını sağlaması kadar, ekonomik çözümlerde aranmaktadır. Bu durum çözümü kolay olmayan geoteknik tasarım problemlerinin maliyet ve zaman açısından çözümünü daha da zorlaştırmaktadır. Bu noktada hızla gelişen ve yeni ufuklar açan optimizasyon çözüm teknikleri kullanılmaktadır. Doğadan esinlenerek geliştirilen algoritmalar yardımı ile yazılan optimizasyon kodları en ideal çözümü tasarımcıya sunmaktadır. Ayrıca kodlama tekniği ile farklı yazılımlarda tanımlanan matematiksel modelleme kodları ile tasarım boyutlarının en kısa sürede hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

Optimizasyon, belirli şartlar altında herhangi bir problemi en iyi yapan sonuçları içeren, en optimum çözümleri bulma işlemidir. Başka bir tanımlama ile optimizasyon, verilen sınırlayıcılara bağlı olarak amaç fonksiyonu maksimum veya minimum yapmayı amaçlar. Mühendislik problemlerinde de amaç, faydalı sistemi minimum maliyet veya minimum zaman ve maksimum kazançla tasarımını yaparak çözüm sunmaktır. Optimizasyon, deterministik ve sezgisel olmak üzere iki yöntemden oluşmaktadır.

Deterministik yöntemler, matematik tabanlıdır ve sonsuz çözüm uzayı, iterasyon sayısının fazla olması, problemin çok bilinmeyenli olması gibi nedenlerden dolayı çözüm noktasında yetersiz kalabilmektedir. Problemin çözümü zorlaşmakta ve uygun çözümler bu yöntemle elde edilememektedir. Mühendislik tasarım problemlerinde öncelikle ön boyutlandırma yapılmakta, daha sonra analizlerle stabilitesi tahkik edilmektedir. Fakat

seçilen boyutların en ekonomik ve ideal çözüm sunduğu konusu belirsizlik içermektedir. Bulunan çözümün en uygun, en ekonomik, en güvenilir boyutlar olduğu konusu tam bir muammadır.

Sezgisel optimizasyon yöntemlerinde ise, doğadan esinlenerek geliştirilen algoritmalar kullanılmaktadır. Doğanın zor yaşam şartlarına karşı ürettiği çözümler, mühendislik problemlerinin çözümünde de taklit edilmektedir. Sürülerin sosyal davranışları baz alınarak büyük boyutlu optimizasyon problemleri algoritmalarla çözülebilmektedir. Sezgisel yöntemler, sürü tabanlı, fizik tabanlı, biyoloji tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı ve kimya tabanlı olarak altı ana gruba ayrılır. Ayrıca bu algoritmalar birlikte düşünülerek melez algoritmalarda türetilmiştir. Kesin çözüm sunmadığı düşünülen algoritmik yöntemlerin gerçeğe en yakın çözüm sunduğu düşünülmektedir.

Diferansiyel gelişim algoritması, yapay sinir ağları, genetik arama algoritması, yapay bağışıklık sistemleri algoritması, bozkurt algoritması, arı kolonisi algoritması gibi algoritmalar genetik tabanlı algoritmalarlardır. Isıl işlem ve elektromanyetizma algoritması gibi algoritmalar fizik tabanlı, yapay kimyasal reaksiyon optimizasyon algoritması kimya tabanlı, emperyalist yarışmacı algoritması gibi algoritmalar sosyal tabanlı, harmoni arama algoritması ise müzik tabanlı algoritmalarlardır (Karaboğa, 2014).

Bu tez çalışmasında, kazıklı radye temel sistemlerinin optimizasyonu için, genetik tabanlı, arıların besin bulma sürecini tanımlayan “Yapay Arı Koloni Algoritması” ile müzik tabanlı, orkestranın müzik yapma davranışını taklit eden “Harmoni Arama Algoritması” kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar kodlama tekniği ile bir optimizasyon problemi olarak yazılmıştır.

Amaç fonksiyonu, kullanılan beton hacmini, kazık ve radye boyutlarını hesaba katarak minimize etmeyi amaçlamaktadır. Daha sonraki bölümlerde açıklanmış olan optimizasyon sınırlayıcıları ise oturma, yük taşıma kapasitesi ve zemin parametreleri ile kazık-radye özelliklerini içerisinde barındırmaktadır.

Sınırlayıcı fonksiyonlar, alt formülasyonlarla tanımlanarak optimizasyon kodunda tanımlanmıştır. Aynı zamanda, kazık çapı, boyu için alt ve üst sınırlar seçilerek, tasarım uzayının o sınırlarda yer alması sağlanmıştır. Optimizasyon problem kodu “Harmoni Arama” ve “Yapay Arı Koloni” algoritmasına kodlanarak çözümler elde edilmiştir. Algoritmalar ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Tez çalışmasının, birinci bölümünde, matematiksel model olarak seçilen oturma esaslı Randolph yöntemi ile yazılan bir hesap koduyla, kazık ve radye özelliklerinin birbirleriyle olan ilişkisi incelenmiş ve Randolph yöntemi açıklanmıştır. Analizler sonucunda, değişen zemin ve temel özelliklerine bağlı olarak, oturma miktarlarındaki değişim analiz edilmiş ve sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

İkinci bölümde, ana problemi teşkil eden zemin profili, gerçek boyutlu (uygulaması yapılmış) üç farklı kazıklı radye temel projesinin verilerini içermektedir. Optimizasyon analizlerinde kullanılan uygulama projelerinden bir tanesinin zemin ve yapı parametreleri Randolph hesap kodunda da benimsenmiş ve boyut etkisi ana problemin zemin profili çerçevesinde incelenmiştir. Yani hem optimizasyon algoritmalarının analizlerinde hem de oturma hesabını esas alarak çalışan Randolph hesap kodunda aynı zemin profili tanımlanmıştır. Ayrıca, algoritmaların gerçekte olan uyumunun araştırılması amacı ile gerçekte uygulanmış farklı konum ve şartlara sahip üç farklı uygulama proje üzerinden tasarım değişkenleri araştırılmıştır. Zemin parametreleri, yük koşulları, yapı özellikleri vb. nitelikleri birbirinden farklı olan üç yapı seçilmiştir. Farklı algoritmalar ile optimizasyon kodu tanımlanmıştır. Elde edilen optimizasyon sonuçları uygulamadaki değerlerle kıyaslanmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında “Kazıklı Radye Temel” sistemleri birçok açıdan araştırılmıştır. Matematiksel Randolph metodu esas alınarak, belirlenen amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar doğrultusunda optimum tasarımı araştırılmıştır. Kullanılan 2 farklı algoritma yardımı ile değerlendirmelerde bulunulmuştur. Algoritmaların analizleri sonucunda elde edilen veriler birbirleri içerisinde kıyaslanmıştır. Bu nedenle 2. Bölüm’de konu ile ilgili daha önceden yapılan çalışmalar incelenmiştir.

### 2.1. Kazıklı Radye Temel Sistemleri Literatür Çalışması

Artan insan ihtiyaçları her geçen gün daha büyük geometriye sahip, yüksek binaların, kulelerin, köprü ve viyadüklerin, önemli kıyı ve deniz yapılarının, barajların, metro vb. yapıların inşasını gerekli kılmıştır. Bu tür büyük yapıların inşası, zemine aktarılan yüklerde önemli artışlara neden olmuştur. Yapının inşa edileceği yüzeye yakın zemin tabakaları, her zaman gereken taşıma kapasitesi ve gerekli zemin özelliklerine sahip olmayabilir. Aynı zamanda yüzeye yakın zemin tabakaları, yatay ve düşey yükleri üst yapıya zarar verebilecek şekilde aktarabilir. Böyle durumlarda üst yapıdan gelen yüklerin daha derindeki sert tabakalara veya kaya katmanlarına aktarması gerekir (Kadioğlu, 2002).

Kazıklar, temellerin altında teşkil edilen ve bu yük aktarımını sağlayan önemli yapı elemanlarıdır. Ancak kazıkların ve kazıklı temellerin inşa maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle tasarım yapılırken maliyeti düşürecek yönde optimum çözümlerin yapımına ihtiyaç duyulur. Bu noktada optimizasyonun önemi ortaya çıkmaktadır. Yapılacak optimum kazık dizaynı ile yapı için güvenli koşulları sağlayabilecek ve daha az sayıda kazık içeren kazıklı radye temel sistemlerinin yapılabileceği sonucu ortaya çıkarılmıştır. Bu durum ekonomiklik açısından önem arz etmektedir.

Thaher (1991), yaptığı santrifüj model deneylerde, kil zemindeki kazıklı radye temelin davranışına kazık sayısının, uzunluğunun ve çapının etkisini incelemiştir. Ayrıca sığ temellerle ilgili de model deneyler yaparak oturmaların kazıklı radye temel ile %24-35 oranında azaltıldığını belirtmiştir.

Poulos (1993), kazıklı radye temellerin problemlili zeminlerdeki şişme sonucunda oluşan oturma davranışlarını, kazıklı radye temellerin boyutlandırmasını da dikkate alarak incelemiş ve taşıma kapasitesinin sadece radye ile sağlanamadığı durumlarda kazık ilavesi ile oturma ve farklı oturmaların engellenebileceğini belirtmiştir.

Sönmez (1994), model deney çalışmasında, alttaki kil tabakasından dolayı oturan orta sıklıktaki kumdaki kazık gruplarının negatif sürtünmesini araştırmıştır. Kazıklar arası mesafenin  $3D_{kazık}$  ve  $3D_{kazık}$ 'den az olduğu durumlarda, kazık grubunun dışında oluşan oturma değerlerinin daha yüksek olduğu ve kazıkların bir blok gibi davrandığı gözlenmiştir ve boyutlandırma da kazıklar arası mesafenin önemli olduğunu belirtmiştir.

Zhuong ve Lee (1994), kazıklı radye temellerin boyut etkisini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemiştir. Kazık uzunluğu ve kazıklar arası mesafenin kazıklı radye temellein boyutlandırılmasına olan etkisini, kazıklar arasındaki yük paylaşımını da dikkate alarak incelemiştir.

Horikoshi (1995), kazıklı radye temel sistemlerinin optimum tasarımı konusunda yaptığı çalışmalar sırasında, kil zemin içerisinde bir dizi santrifüj model deneyleri ile optimum kazık sayısının tespitini araştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda radye temel altında merkezde kazık sayısının azaltılması halinde farklı oturma değerlerinin büyük ölçüde azaltılabileceği belirtilmiştir.

Ta ve Small (1997), yaptıkları çalışmada kazıklı radye temellerde radyeye etki eden faktörlerin hesabı için nümerik bir hesap modeli önermişlerdir. Zemin tabakasının katı kıvamda olduğu durumlarda kazıkların, radyeden daha fazla yük taşıdığı sonucuna varmışlardır. Kazıkların ve radyenin boyutlandırmasında göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kempton ve diğ., (1998), kazıklı radye temellerin yük paylaşım oranlarını ve oturma miktarlarını düzlem deformasyon modeli  $2D_{kazık}$  ve hücre dolgu modeli  $3D_{kazık}$  ile modelleyip, modelleri birbirleriyle kıyaslamışlardır ve optimum boyutlandırmayı araştırmışlardır.

Russo (1998), kazıklı radye temel sistemlerinin analizinde yük-oturma davranışını açıklayan sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir. Deformasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilir olduğu önerisinde bulunulmuştur.

Horikoshi ve Randolph (2000), farklı oturmaları en aza indirmeyi amaçlayan kazıklı radye temeller için, optimum tasarımlar sunmuşlardır. Kazıklı radye temellerin farklı oturmasına etki eden birçok etken yer almaktadır. Yaklaşım kriterleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sönümleme oranının radye sertliğine oranı,
- Sönümlemenin toplam radye alanına oranı,
- Kazık grubu kapasitesinin toplam uygulanan yüke oranı.
- Radye temelin alanı içerisinde, kazıkların k merkeze %16 ile %25 oranında dağıtılmalı.
- Kazık grubunun rijitliği, yaklaşık olarak radyenin rijitliğine eşit olmalı.
- Kazık grubu alanına bağlı olarak, optimu boyutlandırma, toplam kazık kapasitesi tasarım yükünün %40 ile %70'i arasında tasarlanmalıdır.

Ismael (2001), çimentolaşmış kum zeminde kazık aralıklarının sonucunda oluşan grup etkisini ve kazık çapı değişiminin taşıma kapasitesine olan etkisini 5 kazıklı arazi deneyleri ile araştırmıştır. Kazık grubunun genişliği arttıkça, elastik oturma değerinin arttığını, kazıklar arası mesafenin  $2D_{kazık}$ 'den fazla durumlarda kazıklar arası grup etkisi ortadan kalktığını belirtmiştir.

Prakoso ve Kulhawy (2001), kazıklı radye temelleri sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişler ve sistemde en etkin temel parametrelerinin kazık derinliği ve radye genişliğinin olduğu belirtilmiştir. Farklı oturmaları önleyebilmek için tek bir kazığın radye alanına oranının %5-6 civarında olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Kadioğlu (2002), tez çalışmasında, kazıklı radye temellerde optimum tasarım kriterlerini incelemiştir. Analizler sonucunda, kazık ile radye arasındaki yük paylaşımında artan kazık boyu ile birlikte kazık çevre sürtünmesinin katkısı ile oturmanın azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada, kazık ile radye arasındaki yük paylaşımları için analiz sonucu ile ampirik denklemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlardan korelasyon katsayısının 0.958 ile 1.000 arasında değişen değerler aldığı görülmüştür. Bu sonuca göre model üzerinde yapılan optimum analizlerin, belirli bir düzeye kadar ampirik denklemlerle yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Poulos (2002), çalışmasında, basit bir kazıklı radye temel dizaynında radye temelin yetersiz olduğu durumlarda, sadece birkaç tane kazık ilavesiyle oturma ve farklı oturmanın azalacağı, daha güvenilir tasarımlar yapılabileceği belirtmiştir ve kazıklı radye temel boyutlandırmasını incelemiştir.

Bakholdin (2003), deneysel model ile kazık-radye-zemin arasındaki yük paylaşımını incelemiş, kazıklı radye temeller için oturma-yük eğrileri çizmiştir ve kazık-radye boyutlarının, oturma davranışına olan etkisini incelemiştir. Ayrıca, zemin tanelerinin, kazıklı radye temellerin yüklenmesi esnasındaki hareketleri fotoğraflanarak, resmedilmiştir.

Cao ve diğ., (2004), çalışmasında, kazık uzunluğu, kazık çapı, kazık yerleşim konfigürasyonu, radyenin rijitliği gibi parametrelerin oturma ve yük taşıma davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Kazık uzunluğunun arttırılması ile birlikte yükün çoğunluğunun kazıklara aktarıldığı görülmüştür. Model deney sisteminde radye merkezine yerleştirilen kazıkların eğilme momentini ve farklı oturmaları azalttığı tespit edilmiştir. Bu çalışma ile kazıklı radye temellerin boyut seçimi üzerine önerilerde bulunulmuştur.

Reul ve Randolph (2004), yaptıkları çalışmada, üniform olmayan yüke maruz kalan kazıklı radye temellerin tasarım parametrelerini araştırmışlardır. Radye temele kazık ilavesi sonucunda, üniform yükleme durumunda eğilme momentinde azalma gözlenmemiştir.

Tan ve Chow (2004), kazıklı radye temellerin yumuşak zeminlerde zemin yüzeyleri dikkate alınarak, kazıklı radye temel tasarımı parametreleri araştırılmıştır. Oturma değerlerinin radye merkezinde en büyük, köşelerde ise en küçük değerlerde olduğu gözlenmiştir. Oturma azaltıcı kazıkların orta bölgede kullanılması ile farklı oturmaları azaltacağını belirtmişlerdir.

Chow ve Small (2005), farklı kazık boylarında, düşey yüklü kazıklı radye temellerde radye-zemin-kazık arasındaki etkiyi incelemişlerdir. Çalışmada üniform olmayan yüke maruz kalan radyelere farklı çap ve boyda kazıklar uygun lokasyon içerisinde yerleştirildiği zaman farklı oturmaların engellenebileceği vurgulamış ve kazıklı radye temellerin boyutlandırmasını araştırmışlardır.

Lin ve Feng (2006), iki boyutlu sonlu farklar programı kullanılarak tabakalı zemin üzerine inşa edilen düşey yüklü kazıklı radye temelin analizini yapmışlardır. Çalışmada radye ve kazık üzerine etki eden momentlerde incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre kalın radyeler, ince radyelerden daha yüksek eğilme momentine neden olmuştur. Radye temelin rijitliği ( $K_r$ )  $0.01 < K_r < 10$ , radye kalınlığının da ( $t_{\text{radye}}$ )  $1 < t_{\text{radye}} < 5$  m arasında olması önerilmiştir. Kazıklı radye temelin eğilme momenti, kazıksız radye temellere göre düşük olduğu belirtilmiştir.

Liang ve Chen (2006), değişik rijitliklerdeki desteklenmiş kompozit kazıklı radye temellerin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Oluşturulan model kazıklı radye temel analizi problemlerin çözümünde kullanılmışlardır. Optimizasyonun gerçekleşebilmesi için orta bölgedeki kazıkların rijitliğinin artırılması, köşe kenar kazıklarındaki rijitliğinin ise azaltılması önerilmiştir.

Gök (2007), 3×3 ve 7×7 kazıktan oluşan sistemler hem kazıklı temel (radyenin zemin ile teması olmadan), hem de kazıklı radye (radye zemin ile temas ettiğinde) olarak yüklenmiş ve yük-oturma davranışlarını araştırmıştır. Programda elde edilen sonuçlar literatürle uyum göstermiştir ve bu durum önerilen hesap yönteminin kullanılabilirliğini belirtmiştir. Ayrıca önerilen yöntem ile kazıklı radye temeller için boyut hesabı yapılabilmektedir.

Fioravante ve diğ., (2008), oturmayı azaltmak amacıyla kazıklı radye temel tasarımı ile model deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda yük paylaşımının radye-kazık arasında nasıl gerçekleştiği ve kazıkların oturma azaltıcı etkisinin nasıl oluştuğu araştırılmıştır. Oturma davranışı ile kazıklı radye temel boyutları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Liang ve diğ., (2009), kazıklı radye temellerin optimizasyon ve integral eşitliği metodu üzerine analizler yapmıştır. Kazıklı radye temel dizaynında farklı kazık özelliklerinde; kazık boyu-yerleşim düzeni, gerilme dağılımı ve radyenin eğilmesinin etkin ve önemli faktör olduğunu vurgulamıştır, farklı çap ve boyda seçilen kazık sistemleri göstermiştir ki, bu özelliklerin değiştirilmesi, kesme, moment ve oturma değerlerini azaltmaktadır.

Rabiei (2009), radye kalınlığının artırılmasıyla maksimum eğilme momentinin arttığını, kazık uzunluğu ve kazık sayısının artırılması durumunda ise maksimum eğilme momentinin azaldığını belirtmiştir. Ayrıca radye kalınlığının artırılması, farklı oturmayı azaltırken, maksimum oturma miktarında gözle görülür bir etki oluşturmamıştır.

Fioravante ve Girette (2010), kazıklar ve radye arasındaki yük paylaşımının kazık-zemin arasındaki rijitliğe bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Yükün büyük çoğunluğunun kazıklar tarafından taşındığı ve buna bağlı olarak da oturmanın azaldığı gözlenmiştir ve kazıkların taşıma kapasitesi aşıldığında ise yükün artık zemin tarafından taşınmaya başladığı tespit edilmiştir.



Sawwaf (2010), radye üzerine etki eden eksantrik yükleme durumunda, kazık uzunluğunun etkisini araştırmıştır ve kısa kazıkların kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışmalar sonucunda, kumlu zeminlerde kısa kazık kullanımında, kumun sıklığı arttıkça radyenin taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Yalçın (2010), yapı temel sisteminin kazıklı radye temel seçilmesiyle, maksimum oturmanın %40, farklı oturmaların %35 oranında azaltıldığını belirtmiştir.

Yalçın ve İncecik (2010), kazıklı radye temeller ile kazıksız imal edilen radye temellerin yük etkisi altındaki davranışlarını kıyaslamıştır ve çalışmaları sonucunda, radye temele, kazık yerleştirilerek, yük taşıma kapasitesindeki artış ve oturma değerlerinde oluşan azalım gösterilmiştir.

Yılmaz (2010), kazıklı radye temellerin tasarımı, kazıkların oturmayı azaltıcı etkisi ve oturmanın sabitlendiği optimum kazık sayısı araştırmıştır. Belirli bir kazık sayısından sonra optimum değere ulaşıldığı ve kazık sayısını arttırmanın, oturma açısından bir etki oluşturmadığı görülmüştür.

Ziaie-Moayed ve diğ., (2010), yaptıkları çalışmada, farklı çaplarda kazık kullanımı, toplam oturmayı azaltırken, farklı oturmalarının %31 azaldığı belirtilmiştir ve alt tabakadaki zeminin sıkı olması durumunda oturmaların azaltılması için kazıklı radye temeldeki kazık çaplarının farklı seçilmesi önerilmiştir. Ayrıca alttaki zemin tabakasının daha zayıf bir zemin olması durumunda ise, kazık çap değişimi yerine kazık boyunun değiştirilmesi tavsiye edilmiştir.

Leung ve diğ., (2010), yaptıkları çalışmada, kazık uzunluklarının optimizasyonunu araştırmışlardır. Kazık uzunlukları değiştirildiği durumlarda, kazıkların etkileşiminin yanı sıra, kazık grubunun ve radye temelin durumu incelenmiştir. Sürtünme kazığı olarak dizayn edildiğinde, kazık boyunun arttırılması, oturma değerlerini azaltmıştır. Ayrıca radye kalınlığının arttırılması durumunda teorik olarak aynı sonucu vermiştir. Çalışmada ekonomik açıdan en iyi sonucun kazık uzunluğunun arttırılması olduğu belirtilmiştir.

Erdemir ve Okur (2011), sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, farklı zemin tabakalarında oluşan zemin-kazık-zemin etkileşimini, kazıklar arası mesafeye bağlı olarak değişen grup etkisini incelemiştir. Kazıklar arası mesafenin oturma davranışını etkilediği görülmüştür. Kazıklar arası mesafe azaldıkça, grup etkisinin arttığı ve buna

bağlı olarak da deplasmanların arttığı belirlenmiştir. Ayrıca oluşan momentler üzerinde de etkili olduğu vurgulanmıştır.

Khoury ve diğ., (2011), yaptıkları çalışmada, yapının sadece radye temel ile yapılandırılmasının yeterli olmadığı, oturmaların sınır değerlerinden fazla olmasından dolayı radye temelin çevresine ve köşelere yüksek taşıma kapasiteli mini kazıklar yapılarak yapının güçlendirilmesinin uygun olacağı sonucuna varmışlardır.

Omeman (2012), yaptığı çalışmada, kazıklı radye temellerde optimum boyutlandırmayı birçok parametreyi değiştirerek araştırmıştır. Bu parametreler, kazık çapı ve boyu, uygulanan yük değerleri, kazıklar arası mesafe, zeminin Poisson oranı ve radye boyutlarıdır ve parametrelerin etkileri sonlu elemanlar mantığı ile çalışan programlar yardımı ile değerlendirilmiştir.

Gürgüç (2013), yaptığı çalışmada, kazıklı temellerin kullanıldığı yerleri, kazıkların sınıflandırılması, yatay yüklerin tekil kazığın ve grup kazıkların davranışlarına etkisini araştırmıştır ve analizler sonucunda, kazık grubunun yaptığı deplasmanların, kazık aralığı ve kazık çapları arttıkça azaldığı görülmüştür.

Yazıcı (2013), yaptığı çalışmada, kayma deformasyonunun radye temel kenarında maksimum değerlere ulaşırken, kazıkların alt kotunda minimuma ulaştığını, kazıklar arası mesafe 4D'yi aştıktan sonra, hacimsel deformasyon ve kayma deformasyonu sabit kaldığını belirtmiştir.

Patil ve diğ., (2014), yaptıkları çalışmada, tasarım değişkenleri olarak, radye kalınlığı ve kazık sayısı değişimini seçmişlerdir. Radye kalınlığı arttıkça %12 oranında taşıma kapasitesi artmış, oturma miktarı azalmıştır. Kazık uzunluğundaki artışı ile de oturma miktarında azalım gözlemlenmiştir.

Uysal (2014), yaptığı tez çalışmasında, kazık sayısının artmasının, radyede meydana gelen oturma miktarını belli bir değere kadar azalttığını gözlemiştir. Radye kalınlığının artırılması ise, radye temelde meydana gelen farklı oturmaları azaltırken, momenti arttırmıştır. Ayrıca kazık uzunlukları arttıkça radye temelde meydana gelen maksimum moment azalmıştır.

Alver (2015), kazıklı radye temellerin oturma esaslı tasarım yaklaşımı kullanılarak optimum tasarım ilkelerini araştırmıştır. Kazıklı radye temelde oturmalar basitleştirilmiş yöntemlerden olan Randolph yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmıştır. İlk olarak kazık sayısının kazıklı radye temelin oturma davranışı üzerine

etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada amaç ise, kazıklı radyede kazık sayısı arttırılmadan, kazık uzunluğu arttırılarak optimum bir çözüm elde edilmiştir. Optimizasyon aşamasında MATLAB programı kullanılarak kodlamalar yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile hesap kodunun benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bağrıaçık (2015), hazırladığı tez çalışmasında, kazıklar arası mesafenin artması ile kazık taşıma gücünün arttığını, kazıklar arası mesafenin  $4D_{kazık}$  ve daha fazla olduğu durumlarda kazıklı radye temeldeki kazıkların, tekil bir kazık gibi davrandığını belirtmiştir.

Watcharasawe ve diğ., (2015), yaptıkları çalışmada, kazıklı radye temellerin boyutlandırılmasını araştırmışlar ve radye kalınlığının değiştirilmesinin, temel davranışı üzerinde etkili bir parametre olduğunu göstermişlerdir.

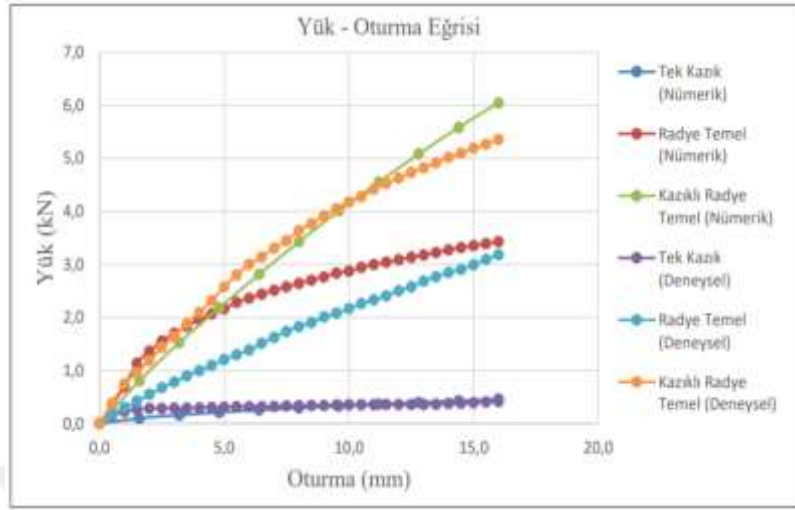
Deshpande ve Thakare (2017), optimum kazık sayısına sahip, kazıklı radye temel tasarımı için analizler yapmıştır. Çalışmanın sonucunda, optimum kazık uzunluğunun arttırılmasının, taşıma kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir.

Duran (2017), hazırladığı doktora tezinde, İstanbul Avrupa yakasında, kazıklı radye temellerin çok katlı binalarda, yapı performansına etkisini araştırmıştır. Uygulanan kazıklı radye temel sisteminin, taşıyıcı perdeler üzerindeki deformasyonları azalttığı gözlenmiştir.

Sharafkhan ve Shooshpasha (2018), kazıklı radye temelde kazık konfigürasyonunun önemini incelemişlerdir. Kazıkların simetrik ve asimetrik yerleşiminin davranış üzerindeki etkisi incelenmiştir ve simetrik yerleşimde oturmaların daha az çıktığı tespit edilmiştir. Optimum çözümlerin arandığı durumlarda kazık konfigürasyonunun önemli bir konu olduğu vurgulanmıştır.

Ateş (2019), hazırladığı doktora tezinde, optimum kazıklar arası mesafe değerini araştırmıştır. Kazıklar arası mesafe artışının yük taşıma kapasitesi açısından önemli etkilerinin olduğu gözlenmiştir ve optimum kazıklar arası mesafenin  $4D_{kazık}$  olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.1'de, oturma miktarındaki değişimin sadece kazık kullanımında, sadece radye kullanımında ve her ikisinin kullanımında ki durumlarda oluşan değişimi gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2.1'de deneysel ve nümerik çalışmalardan elde edilen sonuçlar ortak bir grafik üzerinden sunulmuştur. Kazık grubunun veriminin 1'den büyük bulunması gerektiği savunulmaktadır. Kazıklı radye temelini, sadece radye kullanıldığı duruma göre yükü ve buna bağlı oluşan gerilmeleri daha derine aktardığı, oturmaları

azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca radye boyutlarını da değiştirerek analizler yapmış ve etkisini yorumlamıştır.



Şekil 2.1. Tek kazık, radye ve kazıklı radye durumunda yük-oturma davranışı ve nümerik çalışmalar ile deneysel çalışmaların kıyaslanması (Ateş, 2019)

Çimen ve Osmanoğlu (2021) hazırladıkları çalışmada suya doymun killi zeminde tasarlanan kazıklı radye temellerin optimizasyonunu araştırmışlardır. Tasarım değişkenleri kazık çapı, kazık uzunluğu ve kazık sayısıdır. 20 farklı kazıklı radye temel modeli ile bu değişkenlerin deformasyonları nasıl etkilediği tespit edilmiştir.

## 2.2. Algoritma Uygulamaları Yapılan Literatür Çalışması

Geem ve diğ., (2001), tarafından, harmoni arama algoritması, orkestrada ki müzisyenlerin nota harmonileri üretmek için yaptıkları çalışmalardan örnek alıp esinlenerek hazırlanmıştır. Matematik tabanlı hazırlanan bu algoritma birçok çalışma da kullanılmış ve doğru sonuçlar vermiştir. En iyi müzik harmonisini bulma prensibine dayanan algorithmada bazı örnek optimizasyon uygulama problemleri çözülmüştür. Birçok mühendislik probleminin çözümünde bu algoritma kullanılmaktadır ve doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Mahdavi ve diğ., (2007), yaptıkları çalışmada, HAA üzerinde iyileştirici bir çalışma yapmışlardır. Bu iyileştirme işlemi yeni çözüm vektörünün üretilmesi aşamasında olmuştur. Ayrıca HAA'nın sabit parametrelerinin iyileştirilmesiyle ilgili incelemelerde bulunmuşlardır. Geliştirilen algoritma ile standart mühendislik optimizasyon problemlerinin çözümü yapılmış ve literatürdeki bazı sezgisellerle karşılaştırmışlardır.

Fesanghary ve diğ., (2008), yaptıkları çalışmada, sürekli değişkenli mühendislik optimizasyon problemleri için bir arama algoritması geliştirmişlerdir. Harmoni arama algoritması revize edilmiştir. Çözüm kalitesi ve yakınsama davranışı üzerindeki farklı parametrelerin etkisini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen algoritmanın çözüm kalitesi açısından iyi sonuçlar elde ettiği vurgulanmıştır.

Yazdani (2013), yaptıkları çalışmada, kazıklı radye temellerin tasarım optimizasyonu gerçekleştirebilmek için Karınca Koloni Algoritması' nı kullanmışlardır. Belirledikleri amaç fonksiyonu doğrultusunda, farklı kazık yerleşimlerine ve kazık çaplarına göre kazıklı radye temel maliyeti ile ilgili birtakım sonuçlara ulaşmışlardır. Karınca koloni algoritması (ACO) kullanılarak kazıklı radye temellerin, beton hacminin düşürülmeye çalışıldığı bir amaç fonksiyonu benimsenmiştir. Bu çalışmada, kazıkların yapısal ve geoteknik kapasiteleri, kazıkların toplam oturmaları, sınırlayıcı kısıtlamalar olarak seçilmiştir. Değişkenler ise; toplam kazık sayısı, kazıkların yerleşimi (kazıklar arası mesafe), kazıkların boyu ve radye kalınlığıdır. ACO'nun kazıklı radye temellerin optimum tasarımı için uygun bir algoritma olduğu gösterilmiştir.

Momeni (2014), yaptığı çalışmada, yapay sinir ağı (YSA) kazık taşıma kapasitesinin öngörülmesinde kullanılan ve önerilen bir yöntem olmasına rağmen, yakınsama hızına bağlı olarak, uygulamada büyük dezavantajlar oluşturması nedeniyle, genetik algoritma (GA) optimizasyon tekniği kullanılarak, YSA temelli bir öngörme modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Sonuçlara göre, GA tabanlı YSA tarafından öngörülen kazık taşıma kapasiteleri, ölçülen değerlerle benzerlik göstermektedir.

Stavroulakis ve Bekas (2016), yaptıkları çalışmada, çok katlı bir binanın radye temelin kazık grubu tasarım optimizasyonu ve zemin iyileştirme hususlarını içeren maliyet optimizasyonu üzerine araştırmalar yapılmıştır. MATLAB'in optimizasyon araç kutusunun genetik algoritması, bir optimizasyon metodolojisi olarak uygulanmıştır. Tasarım değişkeni olarak kazıklı radye temelin, radye kalınlığı seçilmiştir. Belli sınır aralıklarında Genetik Arama Algoritması' nda optimizasyon analizleri yapılmıştır. Yapılan optimum çözümler sonucunda, radyenin kalınlığının arttırılmasının, optimum bir çözüm sağlamadığı gözlemlenmiştir.

Hamderi (2017), yaptığı çalışmada, üst yapı yüklerinin alt zemin tabakalarına aktarılmasında tercih edilen ve öncelikli hedefin taşıma gücü kriterlerinin sağlanması olan

kazıklı radye temel sistemlerinin, oturmaya karşı optimizasyonu için, MATLAB programını kullanarak, yeni bir yöntem geliştirmiştir. Oturma verileri kullanılarak, kazık çapını, boyunu, sıklığını, yanal sürtünme kuvvetini, uç mukavemetini, radye kalınlığını, yayılı yükü içerisinde barındıran bir formülasyon oluşturulmuştur. Optimizasyonun araştırıldığı, çalışmalar sonucunda, kazıklı radye temellerde; kazık uzunluğunun değiştirilmesinin, kazık çapı veya radye kalınlıklarının değiştirilmesine oranla toplam kazık sayısına etkisi daha fazladır. İkinci en etkili yol ise; radye kalınlığını arttırmaktır. Bunların aksine, kazık çapını arttırmak, kazık sayısında bir düşüş sağlamadığı ve toplam kazık hacminde ise artışa neden olduğu için ekonomik olmadığı sonucuna varılmıştır.

Temür ve Öser (2019), yaptıkları çalışmada, Bozkurt Optimizasyon algoritmasının, düşey yük etkisi altındaki kazıklı radye temellerde, kazık gruplarının optimizasyon problemleri için geçerliliğinin araştırmayı amaçlanmıştır. Bu amaçla karşılaştırma yapmak için Parçacık Sürüsü Optimizasyon algoritması ve Geliştirilmiş Harmoni Arama algoritması kullanılmıştır. İncelenen yöntemlerin, düşey yük altındaki kazık grupları için hızlı, güvenli ve ekonomik tasarımlar yapılması konusunda mühendislere yardımcı olması amaçlanmıştır. Yumuşak/gevşek zeminler içinde imal edilecek fore kazıkların taşıma kapasiteleri ve optimizasyonu ele alınmıştır. İncelenen algoritmalar arasında, Bozkurt optimizasyon algoritmasının, düşey yük etkisi altındaki kazıkların maliyet optimizasyonu hususunda, Parçacık Sürü optimizasyon ve Genetik Arama optimizasyon algoritmalarına kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

### 3. RADYE TEMELLER

#### 3.1. Giriş

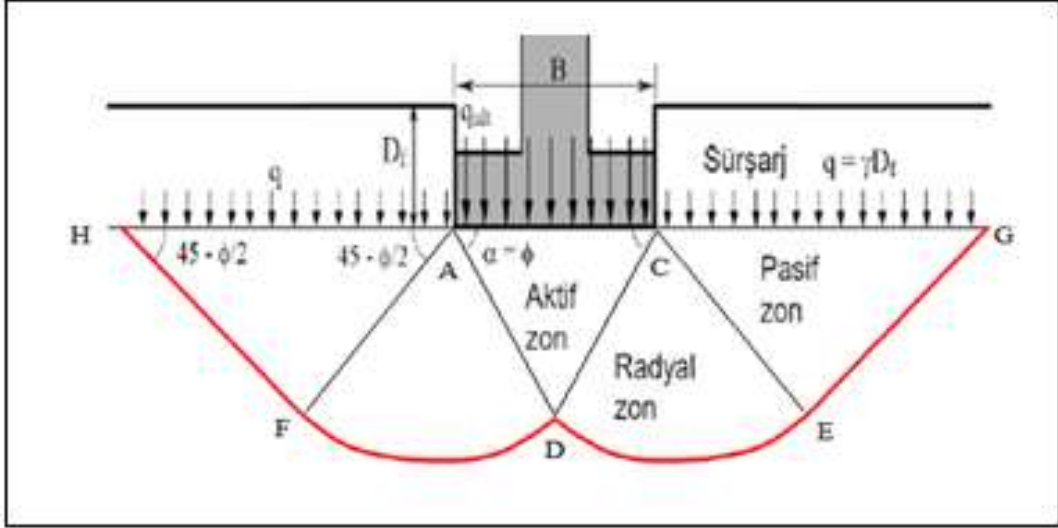
Yapıdan gelen yüke karşılık, etki eden basıncın daha geniş bir alana yayılmasının istendiği durumlarda radye temel tasarımı yapılır (Das, 1999). Kolonlar arası mesafenin az olması durumunda tekil temel yerine, kolonları birbirine bağlayan radye temel inşa edilir. Radye temellerin tercih nedenlerini şu şeklide sıralanabilir:

- Zemin taşıma gücü düşük olmasına rağmen, sıkışabilirliği yüksek olduğu durumda, zeminde oturma beklenir. Bu durumun önüne geçmek için,
- Tekil temeller arası mesafe az ise,
- Hızlı bir hesap yapılmasının gerektiği durumunda, üst yapı alanı, temelin oturma alanının %50'sinden fazla olduğu hallerde,
- Tabakalı bir zemin profili mevcutsa, bu durum farklı oturmaların olması ihtimali arttırdığı için,
- Radye temel rijitliğinden faydalanılması gereken, yanal yüklemenin düzensiz bir şekilde yapıya etki ettiği durumda,
- Yer altı su seviyesinin yükselmesine bağlı, temelde kaldırma kuvveti oluşmaktadır ve temelde yüzme etkisi oluşturduğu için,
- Radye temelin yalıtım özelliğinden faydalanılması gereken hallerde, radye temel tasarlanır.

Radye temeller, yükün zemine düzgün bir biçimde dağılmasını sağlar ve depreme karşı büyük bir avantaj sağladığı bilinmektedir. Deprem anında yapıyla birlikte hareket eder ve yapıda hasar oluşmasını büyük ölçüde engeller. Zemin emniyet gerilmesinin çok düşük olduğu zeminlerde veya yükün çok fazla olduğu yapılarda kullanılsa da günümüzde yapı yüklerini geniş bir alana yaymak, taşıma kapasitesi arttırmak ve farklı oturmaları azaltmak amacıyla her türlü zeminde kullanılmaktadır.

#### 3.2. Radye Temelerde Taşıma Gücünün Hesaplanması

Radye temelerde, kaymaya neden olan kuvvetler ile dayanma oluşturan kuvvetlerin dengelenmesi amaçlanır. Radyenin göçme mekanizmasını oluşturan bu sistem Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Terzaghi ve Peck, 1968).



Şekil 3.1. Yüzeysel temel göçme mekanizması (Terzaghi ve Peck, 1968)

Radye temellerin taşıma gücünün hesaplanmasında Denklem 3.1'e göre;

$$q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} \quad (3.1)$$

$q_u$ : Nihai taşıma kapasitesi

$c$ : Kohezyon ( $\text{kN/m}^2$ )

$\gamma$ : Birim hacim ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ )

$D_f$ : Radye temel derinliği (m)

$B$ : Temel genişliği (m)

$N_c, N_q, N_\gamma$ : Taşıma gücü katsayıları

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ : Derinlik katsayıları

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ : Yük-eğim katsayıları

### 3.3. Radye Temellerin Tasarım Yöntemleri

#### 3.3.1. Yatak katsayısı yöntemi

Bu yöntemde, analizlerde hesaba dahil edilmeyen radye temelde oluşan şekil değiştirmeler ve tabakalar arasında oluşan üniform olmayan taban basınçları dikkate alınır. Şekil değiştirmelerin hesaba dahil edilmesi ile yapılan analizler sayesinde, daha güvenilir ve ekonomik sonuçlar elde edilir. Aynı zamanda radyedeki eğilmeler de hesaba



katılmaktadır. Ancak, bu yöntem de basınç dağılımlarının üniform olmayan karmaşık bir yapıda olması çözümü zorlaştırmaktadır.

Winkler (1867), zeminin sonsuz sayıda yaydan oluştuğunu varsayarak zemin yatak katsayısını, sistemin yay katsayısına eşit varsayarak hesap yapmaktadır. Geliştirilen hesap hipotezine göre gerilme, o noktadaki yer değiştirme ile orantılıdır. Her bir yayın bulunduğu noktadaki yer değiştirmeyi yay temsil etse de bazı noktalarda gerçeği temsil etmediği düşünülmektedir. Zemin doğrusal bir davranış sergilememesine rağmen bu yöntem zeminin lineer olduğunu, yük-oturma doğrusunun eğiminin yatak katsayısına eşit olduğunu varsaymaktadır. Bu yöntemde radye temel her nokta da aynı miktarda oturma yaptığı düşünülmektedir. Oysa ki gerçekte, durum bunun aksine, orta bölgede gerilme artışı fazla olduğu için orta bölgede oturma miktarı da daha fazladır. Tüm yaylar ise birbirinden bağımsız hareket etmekte, birbirleri üzerinde de etki oluşturmaktadır. Bu yöneme göre radye temel üzerinde oluşan oturma Denklem 3.2' den hesaplanabilmektedir. Q yükü etki eden sonsuz uzunlukta ve  $B_{kiriş}$  genişliğinde bir kiriş analiz edilirse hesabı Denklem 3.2'de şu şekilde yapılır.

$$M_r = E_{radye} \times I_{KR} \times \frac{d^2 z}{d^2 x} \quad (3.2)$$

Burada;

$M_r$ : Rastgele seçilmiş bir noktaya ait moment

$E_{radye}$ : Radye temel elastisite modülü

$I_{KR}$ : Kirişin atalet momenti

$B_{kiriş}$ : Kiriş genişliği

Temelin zeminde oluşturduğu taban basıncı, yatak katsayısı ve zemin de oluşan deplasmanın çarpımıyla bulunabilir. Yatak katsayısı  $k_v$ , her farklı zemin için, temelin genişliği, uzunluğu ve derinliği parametrelerine göre değişmektedir. Temel derinliği arttıkça yatak katsayısı azalmaktadır. Bu değer arazide 30×30 cm boyutlarındaki plakaların yardımı ile yapılan plaka yükleme deneyi ile tespit edilebilmektedir. Denklem 3.3'te ve Denklem 3.4'te görüldüğü üzere:

$$k_v = k_{0,3} \left( \frac{0,3}{2 \cdot B_{kiriş}} \right) \quad (\text{İnce taneli zeminler için}) \quad (3.3)$$

$$k_v = k_{0,3} \left( \frac{B_{kiriş} + 0,3}{2 \cdot B_{kiriş}} \right)^2 \quad (\text{İri taneli zeminler için}) \quad (3.4)$$

$k_{0,3}$ : Plaka yükleme deneyi yatak katsayısı

$k_v$ : Yatak katsayısı

İlk olarak radye temel in kalınlığı, eğilme rijitliği, efektif rijitlik çapı ve yapıdan gelen yüklerden dolayı oluşan moment değerleri belirlenir. Bu bilgiler doğrultusunda, kayma mukavemeti hesaplanarak, oluşabilecek yer değiştirme belirlenir.

### 3.3.2. Basit gerilme dağılışı yöntemi

Smoltyczk (2006) yaptığı çalışmalarda, radye temelde ve zeminde oluşan yer değiştirmelerin ihmal edilmesini önermiştir. Temel taban basıncı tekil yük etkimesi durumunda üniform, eksantrik yük etkimesi veya moment oluşması halinde lineer olarak oluşmaktadır ve bu basınç değeri yapıdan gelen yüke ve temel ağırlığına bağlıdır.

Das (1999) yaptığı çalışmalarda bu yöntemin analiz aşamalarını Denklem 3.5 ve Denklem 3.6' da şu şekilde tanımlamıştır. Denklem 3.5'te, radyeye gelen yük her bir kolondan gelen yükün toplamına eşit olursa,

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \quad (3.5)$$

Zemine gelen basınç ise Denklem 3.6' da şu şekilde tanımlanabilir.

$$q_{zeminbasıncı} = \frac{P_{Toplam}}{A_T} \mp \frac{M_y x}{I_y} \mp \frac{M_x y}{I_x} \quad (3.6)$$

Burada;

$P_T$ : Kolonlardan gelen yükler toplamı

$q_{zeminbasıncı}$ : Zemine gelen basınç

$A_T$ : Temel alanı

$I_{x-x}$ : Atalet momenti (x-x eksen i yönünde)

$I_{y-y}$ : Atalet momenti (y-y eksen i yönünde)

$M_x$ :  $P \times e_x$  kolon yüklerinden kaynaklanan x eksenli momenti

$M_y$ :  $P \times e_y$  kolon yüklerinden kaynaklanan y eksenli momenti

$e_x$ - $e_y$ : Eksantrisite (x ve y eksenli)

### 3.3.3. Elastik yarı uzay yöntemi

Radye temelin oturmasının tespit edilebilmesi için zeminin Poisson oranı ve elastisite modülü değerlerinin kullanılması bu yöntemin temelini oluşturmaktadır. Smolytzc (2006) yaptıkları çalışma da bu yöntemin ampirik formüllere dayanmaması nedeni ile en gerçekçi çözümleri sunduğunu ileri sürmektedir. Elastik yarı uzay varsayımı ile yapılan analizlerde temel zemini, zeminin elastik parametrelerini ve rijitlik modülü parametrelerini hesaba katacak şekilde modellemektedir (Denklem 3.7). Bu yöntemde üniform yüklü rijit temel altında oluşan gerilme değerleri, temel kenarlarına ilerledikçe artarken, Winkler yöntemine göre temel altındaki gerilme dağılışı sabittir. Rijitlik modülü  $E_{rijitlik}$ , yatay deformasyona izin verilmeyen konsolidasyon deneyi ile elde edilebilir. Rijitlik modülü ve elastisite modülü arasındaki ilişki şöyledir:

$$E_{zeminrijitlik} = \frac{1-v}{(1+v)(1-2v)} \quad (3.7)$$

Eğer radye temel bu yöntemle tasarlanırsa, oturma değeri Denklem 3.8' e göre, şu şekilde hesaplanır.

$$S_{radye,oturma} = \frac{\sigma_0 \times B_{radye} \times f}{E_{sıkışabilirlik}} \quad (3.8)$$

Burada;

$v$ : Poisson oranı

$\sigma_0$ : Radyeye etki eden gerilme

$E_{zeminrijitlik}$ : Zeminin rijitlik modülü

$B_{radye}$ : Temel genişliği

$f$ : Temel boyutlarındaki zemin dayanımına poisson oranına bağlı bir sabit

$E_{sıkışabilirlik}$ : Zemin sıkışabilirlik modülü

$S_{radyeoturma}$ : Radyenin oturma miktarı

Bu yöntem zeminin gerçek parametrelerinin kullanımı ile hesaplanmasından ve temel altında oluşan deplasmanların dikkate alınmasından dolayı daha gerçekçi bir yöntemdir (Smolytczk, 2006).

### 3.3.4. Eşlenik yöntemi

Winkler yöntemindeki gibi temel altında raylı sistemler olduğu varsayılmaktadır. Fakat bu yöntemin farklı tarafı, yaylar arasında ki etkileşimi de dikkate almasıdır. Bu durum bu yöntemin daha gerçekçi çözümler sunmasını sağlamaktadır (Coduto, 2001). Yazılım tabanlı programlarla çözümler elde edilmektedir. Yöntemin eksik tarafı ise, eşlenik yaylar için zemin yatak katsayısının nasıl belirlenebileceğidir.

### 3.3.5. Psödo-eşlenik yöntem

Winkler yöntemindeki eksiklikleri düzeltilmek için, Liao (1991) ve Horvath (1993) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Winkler yönteminden temel farkı, yayların hepsinin yatak katsayısının konumuna bağlı olarak farklı seçilmesidir. Horvath (2002), radye temellerde oluşan oturma dikkate alınarak, temel kenarlarındaki yayların yatak katsayısının, ortadaki yayların yatak katsayısından büyük alınmasını önermiştir. Analizler sonucunda oluşan moment değerleri Winkler yöntemine göre, Psödo-eşlenik yöntemde %25 daha yüksek çıkmıştır. Bu yöntem kullanılarak yapılan tasarımda, ilk olarak yüklemenin etki ettiği alan bölgelere ayrılır. Daha sonra genel bir yatak katsayısı belirlenir ve radyenin orta kısmından başlanarak yaylara tanımlanan yatak katsayısı, kenarlara doğru arttırılarak atanır (Horvath, 1993). Winkler yöntemindeki gibi deplasmanlar, kesme kuvvetleri ve moment değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerlere uygun olarak radye kalınlıkları ve donatılar belirlenir.

### 3.3.6. Çoklu parametre yöntemi

Bu yöntemin diğer yöntemlerden farklı, temel sisteminde yayın yanı sıra zemin-yapı davranışını modellemek amacı ile mekanik elemanların kullanılmasıdır. Modellemek için yay elemanları kullanılmaktadır. Pratikte ise bu sistemin eşleniği

öngörilmeli membranlardır. İki boyutlu mekanik eleman olarak plaklarda kullanılmaktadır.

### 3.3.7. Sonlu elemanlar yöntemi

Bu yöntemde analiz edilecek alan küçük elemanlara bölünerek, tüm düğümlerde oluşan deplasman değerleri bulunarak toplam deplasman hesaplanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ve bu yöntemle çalışan birçok analiz yazılımı mevcuttur.

### 3.4. Radye Temellerde Farklı Oturmaların Hesabı

Zemin yapısı ve yapıdan gelen yüklerdeki düzensizlik durumları dışında, radye temellerde, diğer temellere oranla farklı oturmalara az rastlanmaktadır. Radye temel, temel ve yapının oluşturduğu eğilme rijitliğini engelleyici bir davranış sergilemektedir. Bu durum farklı oturmaları engeller. Yapı-zemin rijitliği Denklem 3.9 ile şu şekilde hesaplanabilir.

$$E_b I_b = E_r I_r + E_B I_B \quad (3.9)$$

Burada;

$E_b I_b$ : Yapı ve temelin radye genişliğine dik yönde oluşan eğilme rijitliği

$E_r I_r$ : Radye temelin genişliğine dik yönde oluşan eğilme rijitliği

$E_B I_B$ : Yapının radyenin genişliğine dik yönde eğilme rijitliği

Denklem 3.9'a göre radye temelin eğilme rijitliği temelin genellikle basit bir şekilden oluşması; bu nedenle de atalet momentinin rahat hesaplanması ve tek bir malzemenin tercih edilmesi (betonarme) nedeniyle kolayca tespit edilebilmektedir. Ancak üst yapıyı meydana getiren elemanların şekillerinin karmaşık olması nedeniyle atalet momenti  $I_B$ 'nin hesaplanması oldukça zaman almaktadır. Üst yapı-temel sisteminin rijitliğinin temel altındaki zeminin rijitliğine oranına farklı oturma oranı denmektedir. Farklı oturma oranının tanımlanması için önemli bir parametre olan radye rijitlik oranı Denklem 3.10 ile şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$K_{radye} = \frac{E_b \cdot I_b}{E_{zemin} \cdot B_{radye} \cdot l_b^3} \quad (3.10)$$

Burada;

$E_{zemin}$ : Zemin elastisite modülü

$B_{radye}$ : Radye temel genişliği

$E_b I_b$ : Birim uzunluk için yapı-temel sisteminin  $B_{radye}$  dik eğilme rijitliği

$I_b$ : Birim uzunluk için yapının  $B_{radye}$  kenarına dik yöndeki atalet momenti

$K_{radye}$ : Radye temelin rijitlik oranı

Farklı oturmanın toplam oturmaya oranı ( $\delta$ ) ise radye rijitlik oranına bağlı olarak, şu şekilde belirlenebilir.

$K_{radye} > 0.5$  ise  $\delta=0$  alınır ve radye temelin rijit davrandığı kabul edilir.

$K_{radye}=0.5$  için  $\delta=0.1$  olarak kabul edilir.

$K_{radye}=0$  için radye temel kare ise  $\delta=0.35$ , şerit temel ise  $\delta=0.5$  alınır.

$\delta$ : Farklı oturmanın toplam oturmaya oranı

### 3.5. Radye Temellerin Göçmesi

Temelden aktarılan yüklerin zeminde oluşturduğu kayma gerilmeleri zeminin kayma mukavemetini aşarsa, taşıma gücü göçmesi meydana gelir. Bu tür temel göçmeleri yıkıcıdır. Taşıma gücü göçmeleri üç ana başlık altında toplanabilir;

- Genel kayma göçmesi
- Zımbalama göçmesi
- Bölgesel (kısmi, yerel) kayma göçmesi

#### 3.5.1. Genel kayma göçmesi

En yaygın göçme şeklidir. Genellikle granüler, sert kohezyonlu zeminlerde ve orta sert kayalarda, drenajsız koşulun hâkim olduğu yeteri kadar hızla yüklenen doymun normal konsolide killerde meydana gelmektedir. Yüzeyde oturan temel için sıkı kumlar ( $D_r > \%65$ ) ve aşırı konsolide killerde ( $OCR > 5$ ) yükleme boyunca temel/plaka oturmaları oldukça düşük iken etki eden yük aniden belirilmekte ve sistemde biriken enerji nedeniyle göçme şiddetli olabilmektedir. Başlangıçta temele uygulanan yük arttıkça oturmalar da

artmakta, göçme yüküne ulaşıldığı zaman yük sabit kalırken oturmalar artmaya devam ederek büyük değerlere ulaşılmaktadır. Temele bitişik zemin yüzeyinde açık bir biçimde oluşan kabarmalar görülmektedir. Kabarmaların temel kenarlarında görülmesine rağmen, göçme sadece bir kenarda oluşur ve buna yönelik olarak temelin döndüğü gözlenmektedir. Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, zemin kayma yüzeyleri boyunca kırılarak temel göçer ve zemin yüzeyinde kırılmalar oluşur. Yük-oturma eğrisinde nihai taşıma kapasiteleri ( $q_u$ ) kolayca belirlenebilir (Demiröz, 2008).

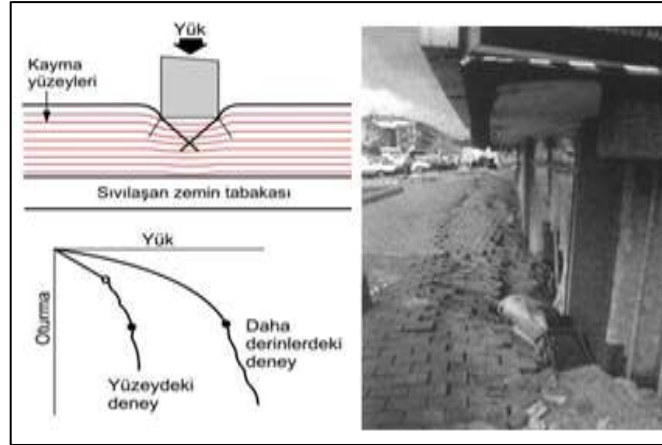


Şekil 3.2. Genel kayma göçmesi (Çinicioğlu, 2005)

### 3.5.2. Zımbalama göçmesi

Gevşek kumlar, batık siltler, moloz ve dolgular ile yumuşak kil tabakalarında yavaş drenajlı koşullar altında temel ortama bir zımba gibi girmekte, zemin yüzeyinde herhangi bir şekil değiştirme gözlenmemektedir. Oturma-yük eğrilerinde bölgesel kayma kırılmasına benzer, fakat kırılma noktası belirgin değildir. Temel yanlarında kırılma veya çok az kabarma oluşur. Şekil 3.3’ e göre kırılma yüzeyleri oluşmadan bu tip zeminlerde zeminin yüksek sıkışabilirliğinden dolayı büyük oturmalar gözlenmektedir. Nihai taşıma gücü değeri çizilen eğrilerin başlangıç ve bitiş teğetlerinin kesişim noktasındaki değerler alınarak hesaplanmaktadır (Demiröz, 2008). Nihai taşıma kapasitesinin ( $q_u$ ) belirlenmesinde iki farklı yöntem ileri sürülmüştür.

- Nihai taşıma kapasitesi değerini yük-oturma eğrisinden, oturma/yük oranının en büyük olduğu ve bu büyük değerden sonra sabit kaldığı nokta olarak tanımlanmıştır (Das, 1999).
- Nihai taşıma kapasitesi değerinin, yük-oturma eğrisinin başlangıç ve bitiş teğetlerinin kesişim noktası olduğu söylenebilir.

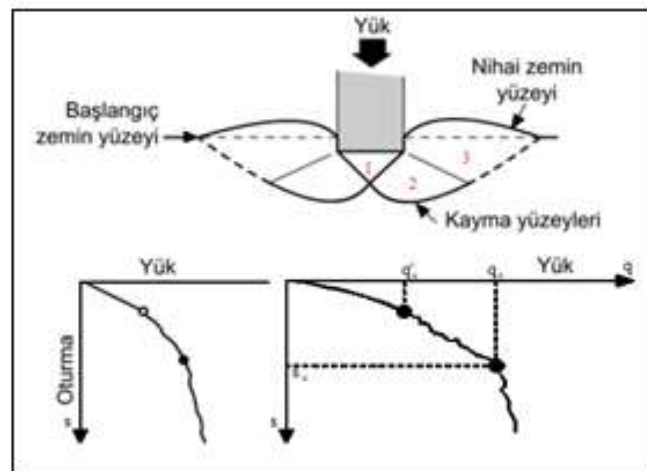


Şekil 3.3. Zımbalama kayma göçmesi (Çinicioğlu, 2005)

### 3.5.3. Bölgesel kayma göçmesi

Bölgesel kayma göçmesi bir ara durumdur. Kayma yüzeyleri temel altında iyi tanımlanmamış olup, daha sonra zemin yüzeyine yakın bir yerde belirsiz hale geçer. 1 nolu bölgede yük arttırılırsa, oturmalar artmakta ve ilk göçme yükü değeri oluşmaktadır. Bu bölgede zemin daha çok düşey yönde sıkışırken çok az yanal deformasyonlar oluşur. 2 nolu bölgede yük arttırıldığında yük-oturma eğrisinin dik ve düzensiz arttığı gözlemlenmiştir.

Zemin hareketleri yukarıya ve dışa doğrudur. Şekil 3.4'te görüldüğü üzere, 3 nolu bölgede nihai taşıma gücüne ulaşıldığında, göçme yüzeyi zemin yüzeyine yakın bir yerde oluşur ve yüklemeye devam edilirse zemin yüzeyinde kabarmalar meydana gelir (Şekil 3.4). Yük-oturma eğrisi lineer olarak artmaktadır, fakat nihai taşıma gücü değeri belirgin değildir (Demiröz, 2008).



Şekil 3.4. Göçme modelleri (Çinicioğlu, 2005)



### 3.6. Radye Temellerin Nihai Taşıma Gücü

Binalarda büyük çoğunlukla yüzeysel temeller kullanılır. Bunun nedeni yüzeysel temellerin yapımının daha kolay ve maliyetinin düşük olmasıdır. Yüzeysel temellerin taşıma gücü yenilmesini analiz etmede ve bu gibi yenilmelerden kaçınacak şekilde tasarım yapmada, aşağıdaki değişkenlerin bilinmesi daha doğru bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu değişkenler şu şekilde sıralanabilir.

- Zeminin sınıfı ve özellikleri,
- Yük (eksenel, eksantrik ve eğimli olması durumunda),
- Radye temelin boyutları ( $B_{\text{radye}}$ ,  $L_{\text{radye}}$ ),
- Radye temel derinliği ( $D_{\text{fr}}$ ),
- Etkiyen moment ve titreşimler,
- Temelin şekli ve temel tabanının pürüzlülüğü,
- Yeraltı su seviyesinin temele göre yeri,
- Yeraltı suyu var ise temelin yapımından ve yüklenmesinden sonra geçen süre,

Zeminin taşıma gücünün belirlenmesinde, birçok teori ve yöntem geliştirilmiştir. Yüzeysel temellerin taşıma gücünü belirleme yöntemleri şu şekilde yazılabilir.

- Arazi deneyleri,
- Hazır tablolar,
- Taşıma gücü teorileri,

Günümüzde yüzeysel temellerin taşıma gücü analizleri için Terzaghi (1943), Meyerhof (1976), Brinch-Hansen (1961), Vesic (1977) tarafından geliştirilen teoriler kullanılmaktadır. Terzaghi (1943) yaptıkları çalışmalar doğrultusunda, yüzeysel temelerde nihai taşıma gücü ( $q_u$ ) için Denklem 3.11 formülünü önermiştir.

$$q_u = \frac{Q_u}{B_{\text{radye}} \cdot L_{\text{radye}}} = k_1 \cdot c \cdot N_C + P'_0 \cdot N_q + k_2 \cdot \gamma_s \cdot B_{\text{radye}} \cdot N_\gamma \quad (3.11)$$

$Q_u$ : Düşey yük (kN, ton)

$B_{\text{radye}}$ : Temel genişliği (m)

$L_{\text{radye}}$ : Temel uzunluğu (m)

$\gamma_s$ : Zeminin birim hacim ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ ,  $\text{t/m}^3$ )

$P'_0$ : Temel tabanındaki düşey efektif gerilme

$D_{\text{fr}}$ : Radye temel derinliği (m)

$c$ : Kohezyon ( $\text{kN/m}^2$ ,  $\text{t/m}^2$ )

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ : Boyutsuz taşıma kapasitesi faktörleri

$k_1$ ,  $k_2$ : Temel şekil katsayıları

$k_1 \cdot c \cdot N_c$ : Kohezyon olması durumunda taşıma gücündeki artış

$P'_0 \cdot N_q$ : Derinlikle oluşan taşıma gücü artışı

$k_2 \cdot \gamma_s \cdot B_{radye} \cdot N_\gamma$ : Temel genişliği ve zemin birim hacim ağırlığının taşıma gücüne katkısı

Formüller Terzaghi (1943) tarafından kare temel ve dairesel temel seçimine göre Denklem 3.12 ve Denklem 3.13 şeklinde düzenlenmiştir.

$$q_u = 1.3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_{fr} \cdot N_q + 0.4 \cdot \gamma_s \cdot B_{radye} \cdot N_\gamma \quad (\text{Kare Temel}) \quad (3.12)$$

$$q_u = 1.3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_{fr} \cdot N_q + 0.3 \cdot \gamma_s \cdot B_{radye} \cdot N_\gamma \quad (\text{Dairesel Temel}) \quad (3.13)$$

#### 4. KAZIKLI TEMELLER

Üst yapıdan kaynaklı yüklerin aşırı olması, temel altında bulunan zeminin söz konusu yükleri göçmeden veya yüksek deplasmana sebep olmadan taşıyamayacak olması ve güçlü zemin tabakalarının olmaması ya da yüzeysel temel için yapılacak zemin iyileştirmesinin ekonomik olamaması halinde yapıdan kaynaklı yükler zemine kazıklı temeller vasıtasıyla aktarılır. Yapı tasarımında, temel zemininin üzerine etkiyen yükü en uygun taşıma şeklinin, yükün sağlam zemine ulaşması olduğu prensip edinilmiştir. Temelin sağlam zemin üzerine oturtulması, temelin taşıma kapasitesini de arttırmaktadır. Bu durum derin temellerin çıkış noktasıdır. İlk olarak ahşap kazıkların tasarımı yapılmıştır. Neolitik Çağ'da insanların korunma amaçlı yaptıkları ahşap kazıkların tarihin ilk derin temelleri oldukları düşünülmektedir. Daha sonraki zamanlarda, kazıkların özelliklerde köprü inşasında kullanıldıklarını görmekteyiz. Ahşap kazıkların ardından, gelişen teknoloji ile insanlar, demir ve çelik kazıklarda imal etmişlerdir. Günümüzde de betonarme kazıkların yanı sıra, çelik kazıklarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Birand, 2007).

##### 4.1. Kazıklı Temellerin Kullanım Alanları

Yüzeysel temellerin yapıdan gelen yükü taşıyamadıkları durumlarda, derin temeller kullanılmaktadır. Kullanılan kazıklar sayesinde hem kazıklar yükü taşımakta hem de zeminin ana kayaya yaklaştıkça artan iyileştirme etkisinden yararlanılmaktadır. Bu durum ekonomiklikte gözetilerek, yüzeysel temellerin veya zemin özelliklerinin yetersiz olduğu durumda, kazık kullanımının uygunluğunu göstermektedir. Ayrıca kazıklar, zeminde oluşabilecek oturmaları da istenen sınır değerinde tutmaktadır. Kazık kullanımını zorunlu hale getiren durumlar şu şekilde sıralanabilir.

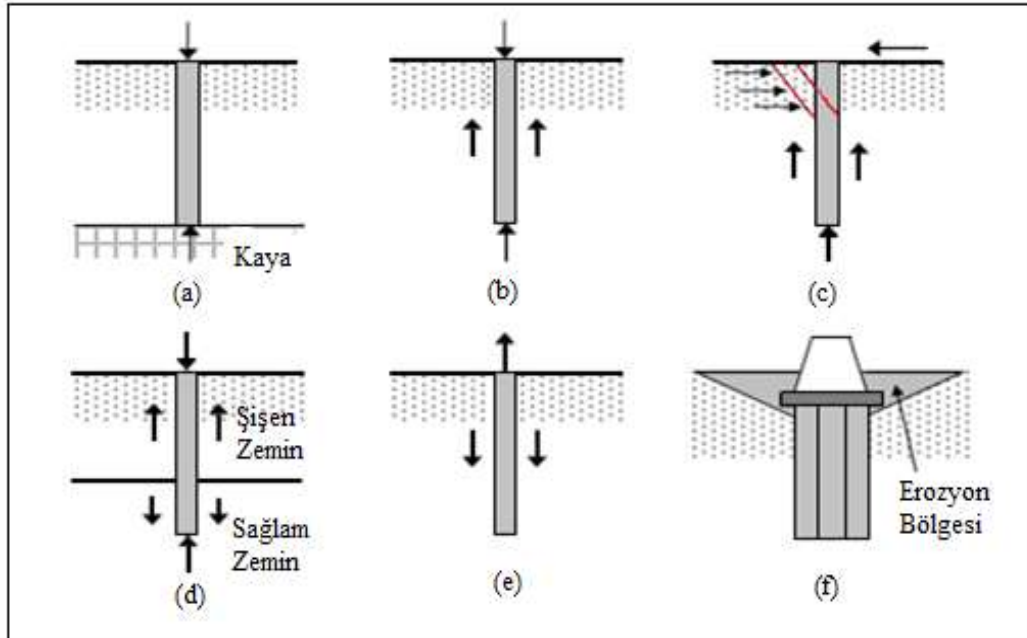
- Zemin taşıma kapasitesindeki yetersizlikler,
- Yapının çok katlı olması veya yapı üzerine etki eden yükün fazla olması durumunda,
- Şişme davranışı gösteren zeminin geçilerek, sağlam zemine ulaşmaya çalışılması durumunda,
- Suyun kaldırma kuvvetinin olduğu, su yapılarında veya yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda,
- Köprü kenar ve orta ayakları, erozyon nedeni ile temel altı oyulmasına karşı,
- Deprem yükünün fazla olma ihtimali olan zeminlerde,

- Sıvılaşma problemi oluşturan zeminlerde kullanılmaktadır.

Kazıkların kullanım alanlarını Das (1999) şu şekilde gruplandırmıştır.

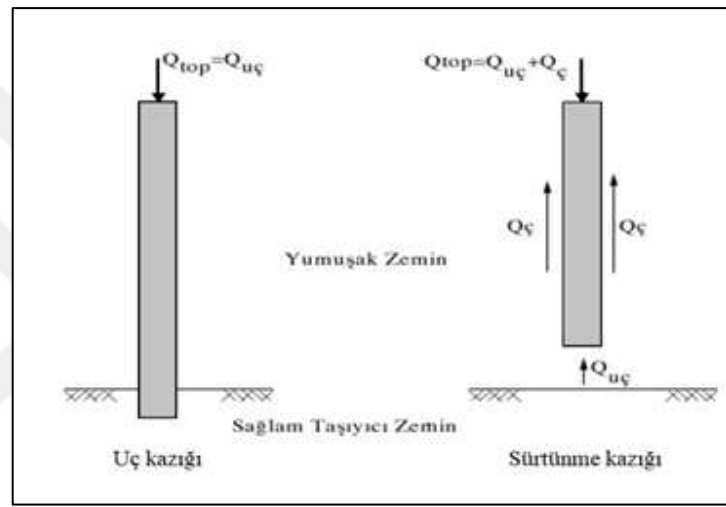
**Uç kazığı:** Zeminde oturmanın olması durumunda veya sağlam zemine ulaşmanın gerekli olduğu durumlarda kullanılan kazıklı temelerde, yük eğer uç kısımda taşınıyorsa, buna uç kazığı denmektedir (Şekil 4.1.a).

**Sürtünme kazığı:** Belirli bir derinliğe kadar taşıma kapasitesi yeterli olan zemine rastlanmadığı takdirde, kazıklar yükü kademeli olarak aktarır ve yükü kazık-zemin arasında ki sürtünme kuvveti ile taşırlar. Bu kazıklara sürtünme kazığı veya yüzen kazık denmektedir (Şekil 4.1.b). Yanal yüklere maruz kazıkların aynı zamanda düşey yükleri de taşımalarının beklenmesi sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Özellikle istinat yapılarının tasarımında bu durum gözlenmektedir (Şekil 4.1.c). Zemin tabakaları arasında, şişme özelliği baskın olan tabakalar olması halinde sınır değerlerini aşan oturmalar meydana gelebilmektedir. Bu durum göz ardı edilemeyecek bir durumdur. Çözüm olarak kazıkların bu tabakayı geçecek şekilde kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir (Şekil 4.1.d). Hidrolik basınçtan veya yeraltı suyundan dolayı oluşan kaldırma kuvveti etkisi kazıkların kullanımını gerekli kılmaktadır (Şekil 4.1.e). Temelde aşınma oluşabilecek olan su yapılarında da kazıklı temeller kullanılmaktadır (Şekil 4.1.f).



Şekil 4.1. Kazık temellerin kullanımı (Das, 1999)

Özetlemek gerekirse; kazıklar, yükleri taşıma ve iletme şekilleri, imal edildikleri malzemeler, zemin içerisine yerleştirme yöntemleri ve işlevlerinin niteliğine göre dört ana başlık altında sınıflandırılabilirler. Kazıklı temelerde kullanılan kazıkları imal edildikleri malzemenin cinsine göre; ahşap kazıklar, betonarme kazıklar, çelik kazıklar, kompozit kazıklar olmak üzere yine dört başlık altında incelememiz mümkündür. Bununla beraber, yükleri taşıma ve iletme şekillerine göre; kazıkların uçları sağlam ve sıkışabilirliği çok az olan bir zemine basıyorsa veya zemin içine gömülü ise “uç kazığı”, eğer kazık zeminin içinde bulunmakla beraber tabanı ayrıca sağlam bir zemine basmıyorsa da “sürtünme kazığı” olmak üzere ikiye ayrılır. (Şekil 4.2), (Birand, 2007).



Şekil 4.2. Kazık çeşitleri (Birand, 2007)

#### 4.2. Kazıkların Taşıma Gücü

Tekil kazığın davranışı bir grup kazık tasarımında, bütün grubu etkilemektedir. Bu nedenle kazık grubunun taşıma gücü hesaplanırken, grup içerisindeki tekil kazıklarının taşıma kapasitelerinin bilinmesi gerekir. Kazığa etkiyen negatif çevre sürtünme kuvvetleri ve grup etkisi dikkate alınarak tekil kazığın taşıma gücü hesaplanır. Yapıdan gelen yük, etki ettiği zaman, zeminde ve kazıklarda bir miktar oturma meydana gelir. Kazıklarda daha fazla oturma oluşur ve kazık-zemin etkileşiminden dolayı oturma yönüne ters doğrultuda sürtünme direnci meydana gelir. Buna “çevre sürtünmesi” denir. Uç direnci kazıklarında ise, kazık tabanında yüzeysel temelerde olduğu gibi, gerilmeler ve kayma yüzeyleri oluşur. Bu iki değer toplamı (çevre sürtünmesi + uç direnci) kazığın toplam taşıma gücünü verir. Çevre sürtünmesi ve uç direnci, farklı oturma değerlerinde kendi sınır direncine ulaşır. Birand (2007) yaptığı çalışmalarda, çevre sürtünmesinin kazığın zemine, çapının %1 kadar oturmasında, uç direncinin ise, kazığın zemine çapının

%10'u kadar oturması sonucunda sınır değerlere ulaştığını göstermiştir. Bu değerler zemin parametrelerine göre farklılık göstermektedir.

Kazığın mekanik özellikleri ve zemin yapısı, kazığın taşıma gücünü etkileyen esas parametrelerdir. Kazıklı temel modellemelerin de hem kazığın hem de zeminin göçmeye uğramayarak yükü taşıması, hem de oturmanın sınır değerleri aşmaması beklenir.

Kazık taşıma gücü birçok yöntemle bulunabilir. Statik kazık formülleri, dinamik kazık formülleri, arazi deneyleri ve kazık yükleme deneyleri ile kazık taşıma gücü tespit edilebilir ve elde edilen sonuçlara göre yöntemleri tanımlayan grafikler çizilebilir (Birand, 2007).

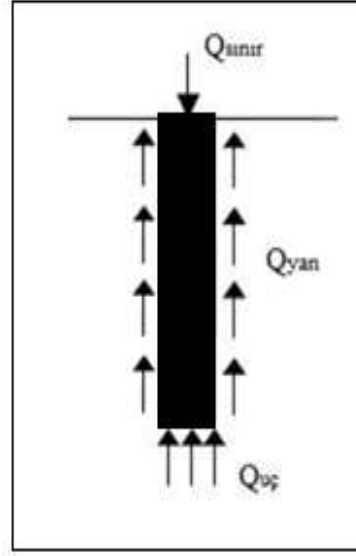
#### **4.2.1. Kazık taşıma gücünün statik kazık formülleri ile tespiti**

Toğrol ve Tan (2009) yaptıkları çalışmada, iri taneli zeminler ile ince taneli zeminlerin statik kazık formüllerindeki farklılıkları tanımlamışlardır. İnce taneli zeminlerde toplam gerilmelere göre (drenajsız şartlar için), iri taneli zeminlerde ise efektif gerilmelere (drenajlı şartlar) göre hesap yapılmalıdır, sonucuna varmışlardır.

Çinicioğlu (2005) kazık yük taşıma gücünü, dört ana başlıkta yorumlamıştır.

- Temel zemininin arazide ve laboratuvarında yapılan çalışmalar sonucu elde edilen veriler, deney sonuçları kullanılarak, genel kabul görmüş statik denklemlerle taşıma gücü hesaplanabilir.
- Kazıkların zemin üzerinde farklı derinliklerde ve özelliklerde, istenen yöntemle inşa edilerek, arazi yükleme deneyleri yapılabilir. Bu yöntemle kazık taşıma gücü hesaplanabilir.
- Dinamik kazık formüllerini, kazık çakma direncini dikkate alarak taşıma gücü elde edilir.
- Tecrübe ve uygulama standartları da taşıma gücünün belirlenmesinde bir öngörü sunabilir.

Kazık ucunda taşınan yük ve kazık-zemin arasında oluşan sürtünme direncinin toplamı bir kazığın nihai toplama kapasitesini verir. Şekil 4.3'te kazık boyunca oluşan kuvvet bileşenleri, Şekil 4.4'te ise bir kazık boyunca oluşan sürtünme direnci ve kazık uç direnci ile hareket mekanizması gösterilmiştir (Çinicioğlu, 2005).

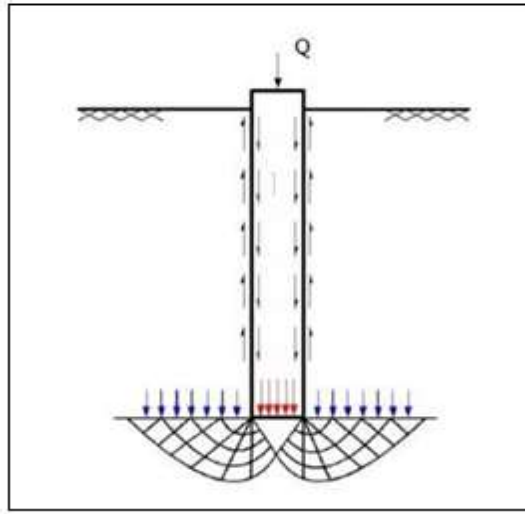


Şekil 4.3. Kazık boyunca oluşan kuvvet bileşenleri (Çinicioğlu, 2005)

$Q_{sınır}$ : Kazığın taşıma kapasitesi

$Q_{yan}$ : Sürtünme kuvveti ile taşıma yük

$Q_{uç}$ : Kazık uç direnci ile taşınan yük



Şekil 4.4. Uç direnci ve çevre sürtünmesi mekanizması (Çinicioğlu, 2005)

**Kazık Uç Mukavemetinin Hesaplanması:** Kazık uç kısmında oluşan göçme davranışı ile yüzeysel temellerin tabanında oluşan durum benzer olduğu için, Terzaghi'nin yüzeysel temeller için geliştirdiği formüller kullanılarak hesaplanır. Bu formüller Denklem 4.1 ve 4.2'de tanımlanmıştır.

$$Q_{uç} = q_{uç} \cdot A_{uç} = A_{uç} [c \cdot N_C + \gamma \cdot D_{fk} \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot D_{kazıktaban} \cdot N_\gamma] \quad (4.1)$$

$$q_{u\check{c}} = c \cdot N_C + \gamma \cdot D_{fk} \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot D_{kazıktaban} \cdot N_\gamma \quad (4.2)$$

$q_{u\check{c}}$ : Kazık uç direnci (kN/m<sup>2</sup>)

$A_{u\check{c}}$ : Kazık uç alanı (m<sup>2</sup>)

$D_{kazıktaban}$ : Kazık taban genişliği (m)

$D_{fk}$ : Kazık temelin derinliği (m)

$N_c, N_q, N_\gamma$ : Yüzeysel temeller içinde kullanılan taşıma gücü faktörleri

$c$ : Kohezyon

$\gamma$ : Zeminin birim hacim ağırlığı

Kazık uzunluğunun kazık çapına oranla çok büyük olduğu düşünülürse,  $N_\gamma$  teriminin  $N_q$  teriminden çok küçük olmasından dolayı ihmal edilir ve  $q_{u\check{c}}$  değeri Denklem 4.3'e göre şu şekilde hesaplanabilir.

$$q_{u\check{c}} = c \cdot N_C + \gamma \cdot D_{fk} \cdot N_q \quad (4.3)$$

**Kazık Çevre Sürtünmesinin Hesaplanması:** Kazık yan yüzey alanı ile zemin-kazık arasında oluşan sürtünme direncinin çarpılması ile Denklem (4.4, 4.5 ve 4.6) kullanılarak şu şekilde hesaplanır.

$$Q_{yan} = q_{yan} \cdot A_{yan} = p_k \cdot D_{fk} \cdot q_{yan} \quad (4.4)$$

$Q_{yan}$ : Çevre sürtünmesinin taşıdığı yük (kN)

$A_{yan}$ : Kazık çevresinde sürtünme oluşturan alan (m<sup>2</sup>)

$q_{yan}$ : Çevrede birim alana etki eden sürtünme (kN/m<sup>2</sup>)

$D_{kazık}$ : Kazık çapı (m)

$p_k$ : Kazık shaft kesitinin çevre uzunluğu (m)

$D_{fk}$ : Kazık temelin derinliği (m)

$$p_k = \pi \times D_{kazık} \quad (\text{Dairesel kazıklarda}) \quad (4.5)$$

$$c = 0 \rightarrow q_{u\check{c}} = \gamma \cdot D_{fk} \cdot N_q \quad (4.6)$$

Birand (2007) yaptığı çalışmalarda, kazığın çok uzun olmasından dolayı  $D_{fk}$ 'nin yüksek bir değere sahip olması nedeniyle, taşıma gücünün de büyük çıktığını belirtmiş ve bu durumu engelleyerek güvenli tarafta kalmak adına,  $L_{cr}=(L_k')$  değerine kadar çevre

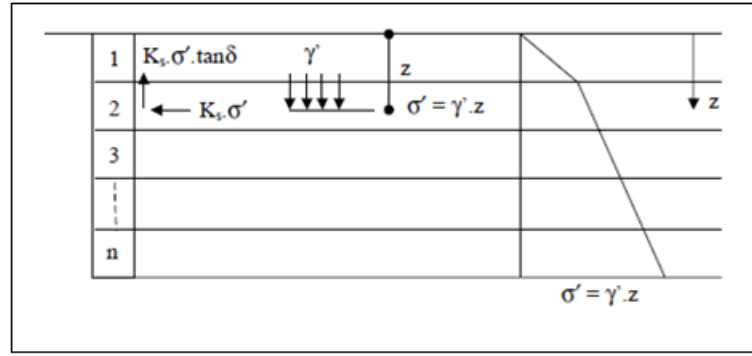


sürtünmesinin doğrusal arttığını, bu derinlikten sonra zeminden ötürü sabit kaldığını belirterek kritik kazık uzunluğunu  $D_{\text{kazık}}$  kazık çapı cinsinden şu şekilde değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varmıştır.

- Gevşek kumlar için kritik kazık boyu  $L'=10D_{\text{kazık}}$
- Orta sıklıktaki kumlar için kritik kazık boyu  $L'=15D_{\text{kazık}}$
- Sıkı kumlar için kritik kazık boyu  $L'=20D_{\text{kazık}}$

Uç direnci ise Denklem 4.7 ile şu şekilde tanımlanabilir.

$$Q_{u\check{c}} = A_{u\check{c}}(\gamma \times D_{fk} \times N_q) \quad (4.7)$$



Şekil 4.5. Çevre sürtünmesi hesabında efektif gerilme (Çinicioğlu, 2005)

Şekil 4.5'te gösterildiği üzere kazık shaftının herhangi bir yerindeki sürtünme direnci, kohezyonsuz zemindeki efektif gerilme prensibine dayanarak, Denklem 4.8 ve Denklem 4.9 kullanılarak şu şekilde hesaplanır.

$$q_{yan} = K_S \times \sigma' \times \tan \delta_s \quad (4.8)$$

$$\sigma' = \gamma' \cdot z \quad (4.9)$$

$K_S$ : Kazık shaftına etki eden ortalama yatay toprak basıncı katsayısı

$D_{\text{kazık}}$ : Kazık çapı (m)

$\delta_s$ : Kazık ve zemin arasında ki çevre sürtünmesi açısı

$\sigma'$ : Seçilen derinliğe göre oluşan efektif jeolojik yük

$A_{yan}$ : Kazık yan yüzey alanı ( $m^2$ )

$Q_{\text{sınır}}$ : Toplam çevresel sürtünme direnci

Dairesel kazıklar da kullanılmak üzere  $K_s$  değerleri, kazık tipine göre abaklardan elde edilebilmektedir. Toplam çevresel sürtünme direnci ise Denklem 4.10, 4.11 ve 4.12 kullanılarak hesaplanılır.

$$Q_{yan} = q_{yan} \cdot A_{yan} = K_s \cdot \sigma' \cdot \tan \delta \cdot A_{yan} \quad (4.10)$$

$$A_{yan} = \pi \cdot D_{kazık} \cdot D_{fk} \quad (4.11)$$

$$Q_{sınır} = A_{uç} \cdot (\gamma \cdot D_{fk} \cdot N_q) + A_{yan} \cdot (K_s \cdot \sigma' \cdot \tan \delta) \quad (4.12)$$

Çinicioğlu (2005) kohezyonlu zeminlerde ise, kazık yük taşıma kapasitesini şu şekilde tanımlamıştır. Doygun kil zeminde, drenajsız kayma mukavemeti parametrelerinin kullanılması uygundur ( $\phi=0$  ve  $c=c_u$ ).  $\phi=0$  için  $N_c=9$  alınır.  $\phi=0$  için  $N_q$  terimi ihmal edilir. Bu değerler dikkate alınırsa  $q_{uç}$  değeri Denklem 4.13 ile şu şekilde bulunabilir.

$$q_{uç} = 9 \cdot c_u \quad (4.13)$$

Dairesel kazıklarda toplam uç mukavemeti ise alan değeri ile çarpılarak Denklem 4.14 kullanılarak şu şekilde bulunur.

$$Q_{uç} = 9 \cdot c_u \cdot \frac{\pi \cdot D_{kazık}^2}{4} \quad (4.14)$$

$D_{kazık}$ : Kazık çapı (m)

$Q_{uç}$ : Kazık uç mukavemeti

$c_u$ : Drenajsız kayma mukavemeti ( $\text{kN/m}^2$ )

#### 4.2.2. Kazık taşıma gücünün arazi deney sonuçları ile tespiti

Meyerhof (1976) yaptığı çalışmada, SPT sonuçlarını kullanarak kazıkların taşıma kapasitesini hesaplamıştır.

Denklem 4.15' e göre, kumlar ve çakıllar için ( $L_{kazık}/D_{kazık} \geq 10$ );

$$Q_{uç} = 40N_{1,60}L_{kazık} / D_{kazık} \leq 400N_{1,60} \quad (4.15)$$

Denklem 4.16' ya göre, siltler için ( $L_{kazık}/D_{kazık} \geq 10$ );

$$Q_{uç} = 40N_{1,60}L_{kazık} / D_{kazık} \leq 300N_{1,60} \quad (4.16)$$

Denklem 4.17' ye göre, kohezyonsuz zeminler için deplasman kazıklarında ( $L_k/D_k \geq 7,5$ );

$$Q_{yan} = 2N_{60} \quad (4.17)$$

$L_{kazık}$ : Kazık boyu

$D_{kazık}$ : Kazık çapı

$N_{1,60}$ : Serbest düşme enerjisinin %60'ına denk gelen efektif jeolojik basıncı 100 kPa olarak düzeltilmiş vuruş sayısı

$N_{60}$ : Serbest düşme enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı

Birçok araştırmacı SPT deney sonuçları kullanılarak  $Q_{uç}$  değerini hesaplamaya yardımcı olan formüller önermiştir. Bunların bir tanesi Shioi ve Fukui (1982) tarafından önerilen ve zemin cinsine göre farklılık gösteren formüllerdir ve Denklem 4.18, 4.19, 4.20, 4.21'e göre şu şekilde tanımlanmıştır.

$$Q_{uç} = 3N_{60} \quad (\text{Kumlu zeminlerde, yerinde dökme kazıklarda}) \quad (4.18)$$

$$Q_{uç} = 0.1N_{60} \quad (\text{Kumlu zeminlerde, fore kazıklarda}) \quad (4.19)$$

$$Q_{uç} = 0.15N_{60} \quad (\text{Çakıllı kumlarda, fore kazık}) \quad (4.20)$$

$$Q_{uç} = 0.3N_{60} \quad (\text{Bütün zeminler, çakma kazık}) \quad (4.21)$$

Briaud (1985) SPT sonuçları ile kazık taşıma gücünün ( $Q_{uç}$ ) aşağıdaki bağıntıları (Denklem 4.22 ve 4.23) önermiştir.

$$Q_{uç} = 19.7(N_{60})^{0,36} \quad (4.22)$$

$$Q_{uç} = 22.4(N_{60})^{0,29} \quad (4.23)$$

CPT deney sonuçlarının kullanılarak kazık taşıma kapasitesinin hesaplanması ise, Eslami ve diğ., (1995) yaptıkları çalışma da kazık zayıf tabakadan daha sağlam tabakaya geçiyorsa;

- Kazık zayıf tabakadan, sağlam tabakaya geçiyorsa,  $4D_{kazık}$  ile  $8D_{kazık}$  arasındaki efektif uç dirençlerinin ortalaması,
- Sağlam tabakadan, zayıf tabakaya geçiyorsa  $4D_{kazık}$  ile  $2D_{kazık}$  arasındaki efektif uç dirençlerinin ortalamasının  $q_{cort}$  olarak seçilmesi önerilmiştir.

#### 4.2.3. Kazık taşıma gücünün kazık yükleme deneyleri ile tespiti

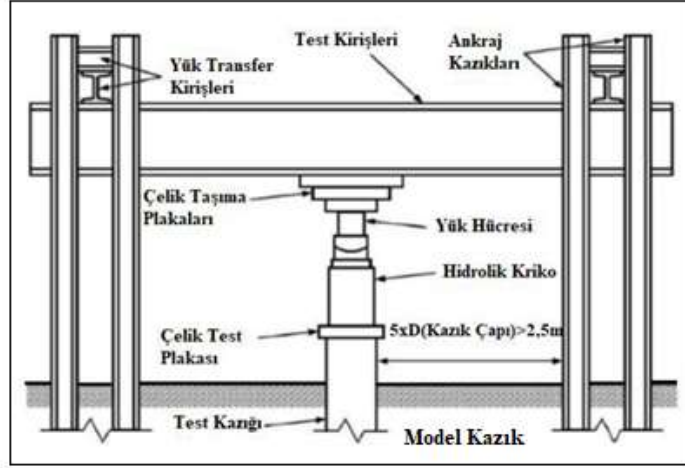
Derin temellerin taşıma kapasitesini tahmin etmek ve güvenilirliğini test etmek oldukça güçtür. Kazıklı temellerin tasarımı, kazık zemin etkileşimini basitleştiren teorik analizlere ve ampirik bağıntılara dayanmaktadır. Tasarımda kullanılan verilerdeki belirsizlikler ve tasarım yöntemlerinin hassasiyetinin istenen düzeyde olmaması, kazıklı temel tasarımının arazi deneyleri ile doğrulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Kazık yükleme deneyleri üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar;

- Kademeli kazık yükleme deneyi
- Kademeli çabuk yükleme deneyi
- Sabit hızda delme deneyi

Kademeli yükleme deneyi, uzun süre yüklenerek, nihai taşıma gücünün yanında oturma miktarının da belirlenmek istendiği durumlarda kullanılır. Yüklemeler kademeli olarak yapılır ve her bir yükleme durumunda oturma hızı sabitlenene kadar beklenir (Birand, 2007).

Yükleme deneyleri model kazıklar tasarlanarak, üzerinde uygulanabilmektedir. Model deneylerde elde edilen sonuçlar, gerçek tasarımda yol gösterici nitelik taşımaktadır. Göçme yükü ve taşıyabileceği nihai yük, tespit edilmeye çalışılır. Tasarım yükünün belirlenmesi için geliştirilen kontrol kazıkları, tasarım yükünün 2 katına kadar yüklenir. Sabit bir giriş yardımıyla, hidrolik kriko ile yüklenir. Yükleme deneylerinde yüksek eğilme momentlerinin oluşacağı düşünülerek, yeterli rijitlikte çerçeve tasarlanmalıdır. Şekil 4.6'da gösterilen deney düzeneğinde kullanılan kazıklar arası mesafenin doğru tespit edilmesi de çok önemlidir. Çünkü gerçek projede kazıklar arası etkileşime bağlı olarak oturma değerleri farklılık arz edebilmektedir. Bu durum deneylerde de dikkat edilmesi gereken bir konudur. Toğrol ve Tan (2009) yaptıkları çalışmada, deney sırasında her durumun değerlendirilebilmesi açısından, deneyde kullanılan kazıkların farklı konfigürasyonla yerleştirilerek, deneyin tekrarlanmasını önermişlerdir.



Şekil 4.6. Ankrāj kazıklarından reaksiyon olarak hidrolik kriko ile yüklenen model kazık

#### 4.2.4. Kazık taşıma gücünün dinamik kazık formülleri hesabı

Kazıkların yük taşıma kapasitesinin belirlenmesinde, çakma kazıklar için dinamik formüller geliştirilmiştir. Bu formüllerin temeli, kazık çakma işlemi için harcanan enerjinin, zeminin gösterdiği direnç ve zemine giriş miktarı ile ilişkilidir. Birand (2007) bu amaçla geliştirilen formülasyonu yaklaşımını şu şekilde tanımlamıştır (Denklem 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28).

Dutch Formülü:

$$Q = \frac{W_{tokmak}^2 \times H_{tokmak}}{S_{refü} (W_{tokmak} + W_{kazık})} \quad (4.24)$$

Brix Formülü:

$$Q = \frac{W_{tokmak} \times W_{kazık} \times H_{tokmak}}{S_{refü} (W_{tokmak} + W_{kazık})^2} \quad (4.25)$$

Sanders Formülü:

$$Q = \frac{W_{tokmak} \times H_{tokmak}}{S_{refü}} \quad (4.26)$$

Danimarka Formülü:

$$Q_d = \frac{W_{tokmak} \times H_{tokmak}}{S_{refü} + 0,5C_2} \quad (4.27)$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{2 \times W_{kazık} \times H_{tokmak} \times L_{kazık}}{A_{kazık} \times E_{kazık}}} \quad (4.28)$$

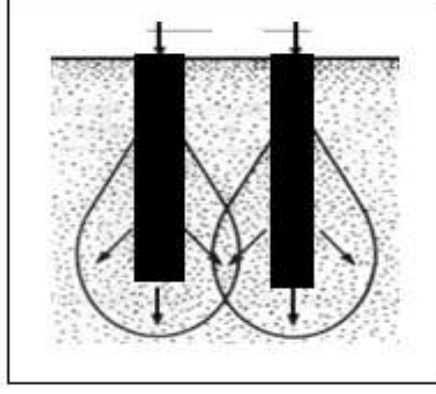
- $W_{kazık}$ : Kazığın kendi ağırlığı
- $W_{tokmak}$ : Tokmanın ağırlığı

- $H_{\text{tokmak}}$ : Tokmağın düşme yüksekliği
- $S_{\text{refü}}$ : Refü, kazığın zemine giriş miktarı
- $E_{\text{kazık}}$ : Kazığın elastisite modülü
- $A_{\text{kazık}}$ : Kazık kesit alanı
- $L_{\text{kazık}}$ : Kazık uzunluğu

### 4. 3. Kazıkların Grup Davranışı

Kazıklar inşaa edilme aşamasında, tekil bir davranış sergiliyormuş gibi düşünülerek modellensede, genel anlamıyla kazıklar grup halinde ve birbirlerinden etkilenerek bir davranış sergilerler. Yük taşıma, yükün iletilme mekanizması, oturma gibi birçok husus grup halinde oluşan etkin bir çalışma mantığı ile sağlanmaktadır (Birand, 2007). Bu nedenle, kazıkların yük taşıma kapasiteleri açısından da oturma davranışı açısından da tekil kazık olması ile grup halinde çalışması arasında farklılıklar bulunmaktadır. Dolayısı ile grup kazık olarak çalışan sistemlerin taşıma gücünün hesaplanmasında, farklı işlem adımları yer almaktadır. Kazıklar üzerine etkiyen eksantrik bir yükleme mevcut değilse, kazıklar üzerine gelen yük  $n$  sayıda ki kazık sayısına bölünerek ve tekil kazığa gelen yük miktarı ile karşılaştırılarak hesaplamalar yapmak ne kadar anlaşılır gözükse de genel anlamda oturma sınır değerlerini aşması halinde, bu yolun işlem adımları izlenememektedir.

Tekil kazığın yüklendiği takdirde taşıdığı yük ile grup içerisinde çalışması durumunda taşıdığı yük kapasitesi aynı değildir. Doğru boyutlandırmanın yapılması, kazıklar arası mesafenin doğru tespiti gibi konular bu durumda önem kazanmaktadır (Birand, 2007). Kazık grubunda oluşan kazık-kazık, kazık-zemin, zemin-radye, kazık-radye arasında ki etkileşimden dolayı her kazığın davranışı birbirini etkilemekte ve oluşan gerilme dağılımı artış göstermektedir. Bu noktada etki alanındaki artış gerilmeyi arttırırken, oturmaya da arttırmakta ancak kazık grubunun taşıma kapasitesini azaltmaktadır (Şekil 4.7).



**Şekil 4.7.** Kazık gruplarında kazıklar olası oluşan basınç soğanları etkileşimi (Birand, 2007)

Kazıklı radye temellerin tasarımında, tasarımcı, temel sistemine etkiyen toplam yükü, toplam kazık sayısına bölerek, her bir kazığa gelen yük değeri ile kazık taşıma kapasitesini aşmayacak şekilde, karşılaştırarak kazıklı radye temelin boyutlandırmasını yapmaktadır. Kazık grubunda yetersizlikler olması durumunda, kazık sayısında, kazıklar arası mesafede, kazık boyutlarında değişiklikler yapılmaktadır. Aynı tahkikler tekrarlanarak hem ekonomik hem de güvenilir tarafta kalan tasarımlar yapmaya çalışılmaktadır. Bu noktada kazıkların grup halinde çalıştıkları işlemlerin her adımında hesaba katılmalıdır.

Kazık grubunda, kazıklar arasındaki etkileşime bağlı oluşan kazıkların taşıma güçlerinde ki azalmayı hesaplamak için, sürtünme kazıklarında, grup verimini ifade eden formüller geliştirilmiştir (Birand, 2007). Hesaplanan grup verimi ( $\eta$ ) ile kazıkların toplam güçlerinin toplamı çarpılarak, temel sisteminin gerçekte taşıyacağı yük değeri hesaplanmaktadır. Bolin (1941) Converse-Labarre denklemini geliştirmiştir. Denklem 4.29 ile grup verimi katsayısı hesaplanmaktadır.

$$\eta = \frac{Q_{g(v)}}{\sum Q_{(v)}} \quad (4.29)$$

$Q_{g(v)}$ : Kazık grubunun taşıma gücü

$Q_{(v)}$ : Grup etkisi olmaksızın kazıkların bireysel olarak taşıma gücü

$\eta$ : Kazık grup verimliliği

## 5. KAZIKLI RADYE TEMELLER

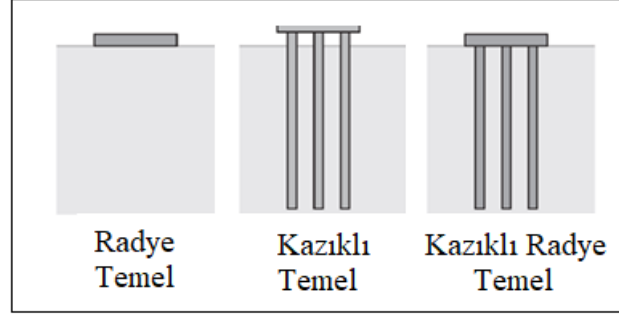
Kazıklı temeller, üst yapıdan gelen yükleri taşımak için zemin özelliklerinin yeterli olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Aşırı yük veya olumsuz zemin koşulları ve yüksek katlı binalar için kazıklı temellerin alternatif bir çözüm olarak düşünülmesine ve kazıkların temel tasarımı sürecinde etkin olarak kullanılmasına yol açmıştır.

Yüksek katlı binalarda ve özel yapılarda kullanılan en yaygın temel türleri radye temeller ve kazıklı temellerdir. Bu temel sistemlerinden herhangi biri tek başına uygulandığında tasarım kriterlerini karşılayabilirler. Bazı durumlarda güvenli olmalarına rağmen ekonomik değillerdir. Bu sistemlerin tek başına kullanılması önemli sorunlara yol açabilir. Bu temel sistemleri birleştirilerek daha verimli, güvenli ve ekonomik bir tasarım elde edilebilir.

Kazıklı radye temeller, taşıma gücü, zemin durumu ve oturma miktarlarının sorun teşkil edebileceği durumlarda, kazık, zemin ve radye birleşiminden oluşan temel sistemleridir (Birand, 2007). Yapı olarak, karmaşık ve anlaşılması çok kolay olmayan temel sistemleridir. Yüksek maliyetli, önem teşkil eden yapılarda kullanılmaktadır ve bu açıdan bakıldığında, tasarım aşaması, ekonomiklik ve güvenilirlik açısından dikkat edilmesi gereken bir konudur. Öncelikli olarak, günümüzde, yüksek katlı yapılarda seçilen temel sistemleridir. Son yıllarda kazıklı radye temel sistemleri yüksek katlı yapıları desteklemek için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Büyük çoğunlukla, kazıklar, üst yapıdan gelen yükün tamamına dayanacak şekilde tasarlanır, yani radye tarafından taşınan yük tamamen ihmal edilir. Ancak gerçekte radye de yükün belirli bir kısmını paylaşmaktadır. Bu nedenle kazıklı radye temel sisteminin tasarımı, radyenin yük taşıyıcı özellikleri göz önüne alınarak optimize edilebilir. Kazıklar ve radye arasındaki yük paylaşımı, zeminin şişmesi veya büzülmesi (rötre) sürecinin yol açtığı zemin hareketinden dolayı önemli ölçüde etkilenebilir. Bu sonucunda temel, temel performansını olumsuz yönde etkileyecek farklı bir gerilme durumuna maruz kalabilir.

Yapıdan gelen yük, ilk olarak radyeye, daha sonrada kazıklar aracılığı ile zemine aktarılmaktadır. Yük taşıma yüzdeleri radye ve kazıklar arasında tasarım boyutlarına göre değişiklik teşkil etmektedir. Kazıklı radye temeller taşıma kapasitesini arttırmak, toplam oturma ve farklı oturma değerlerini azaltmak, zemin özelliklerini iyileştirerek daha derinlere aktarmak amacı ile kullanılır. Radye temellerin, kazıklı temellerin ve kazıklı radye temellerin genel gösterimi Şekil 5.1’de gösterilmiştir.





Şekil 5.1. Radye temeller, kazıklı temeller ve kazıklı radye temellerin gösterimi

### 5.1. Kazıklı Radye Temellerin Uygulandığı Alanlar

Kazıklı radye temellerin kullanım alanları birçok araştırmacının inceleme konusu olmuştur ve zemin cinsine göre kullanımı ile ilgili önerilerde bulunulmuştur. Zemin tabakaları arasında yumuşak veya gevşek yapıda zemin olmaması ya da diğer bir deyişle sert kil, sıkı kum olma özelliğinde ise, kazıklı radyenin kullanımı önerilmiştir (Poulos, 2001). Aynı zamanda, kazıkların oturmayı azaltmak ve sınırlamak için kullanılması durumunda, uygun bir temel sistemi seçimi olduğu savunulmuştur (Gök, 2007). Radyeye etki eden yük arttığı takdirde, kazıklara gelen yükte artar ve bu durum oturma miktarını artırır. Sinha (1996) su muhtevası artarak şişme özelliğinin ön plana çıktığı zeminlerde, radye tabanında oluşan gerilmeler ve zeminin yapı yönünde oluşturduğu yer değiştirme, kazıkların üzerinde çekme gerilmesinin artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Katzenbach vd. (2001) tabakalı zemin yapısına sahip zemin ortamlarında, üst tabakanın elastisite modülünün, alt tabakanın elastisite modülüne oranı %10'dan küçük olduğu durumlarda veya radye alt zemini dolgu, bitkisel bazlı yapının hâkim olduğu bir durumda ise kazıklı radyenin kullanılması önerilmiştir.

### 5.2. Kazıklı Radye Temellerin Taşıma Gücünün Belirlenmesi ve Grup Etkisi

Vesic (1977) yaptıkları çalışmalar sonucunda, radyenin yük taşımadığını düşünerek daha güvenli tarafta kalmış ve kazıkların taşıdığı yükün şu şekilde hesaplanabileceği önerisinde bulunmuştur (Denklem 5.1):

$$Q_{rkf} = n_{kazık} \cdot Q_{kazık} \quad (5.1)$$

$Q_{rkf}$ : Kazıklı radye temelin toplam taşıma gücü

$n_{kazık}$ : Kazıklı radye temel sistemindeki kazık sayısı

$Q_{kazık}$ : Tek bir kazığın taşıma gücü

Yük taşıma esnasında kazıklar arasındaki etkileşimden dolayı toplam taşınan yük için grup etkisi azalır. Yazıcı (2013) yaptığı çalışmada, kazıklar arası mesafenin kazık çapının üç katından az olduğu durumlarda kazıkların arasında etkileşim olduğunu, bu durumun toplam taşıma kapasitesini azalttığını göstermiştir. Dolayısıyla, Denklem 5.2'ye göre, kazık sayısı ile bir tek kazığın çarpılması ile bulunan toplam taşıma kapasitesinin, grup etkisi nedeniyle, birde azaltıcı faktör olarak grup etki katsayısı ile çarpılması gerekmektedir.

$$Q_{rkf} = n_{kazık} \cdot \eta \cdot Q_{kazık} \quad (5.2)$$

$n_{kazık}$ : Kazıklı radye temel sistemindeki kazık sayısı

$Q_{rkf}$ : Kazıklı radye temelin toplam taşıma kapasitesi

$Q_{kazık}$ : Tek bir kazığın taşıma kapasitesi

$\eta$ : Kazık grup verimliliği

### 5.3. Kazıklı Radye Temellerin Analiz Yöntemleri

Kazıklı radye temellerin hesap yöntemleri günümüzde halen belirsizlik taşımaktadır. Geliştirilen hesap yöntemleri ampirik denklem tabanlı olup, bazı durumlarda hesaplar tasarımcının inisiyatifine kalmaktadır. Tasarımcılar güvenliğinin artırılması adına, yapıdan gelen yükün tamamının kazıklar tarafından taşındığını düşünerek, boyutlandırmayı bu doğrultuda yapmaktadırlar. Oysa ki; gerçekte bu durum ekonomiklikten uzaklaşmaya neden olmaktadır. Çünkü radye temel üzerine etkiyen yükün bir kısmını kazıklara, bir kısmını da zemine aktararak, yükün taşınmasına yardımcı olmaktadır. Randolph (1994) kazıklı radye temellerin tasarımını üç farklı yaklaşım belirtmiştir. Bu yaklaşımlar:

**Geleneksel Yaklaşım:** Kazık grubu olarak tasarlanan temel sistemindeki radyenin zemine yük aktardığını ve yükün kazıklar tarafından taşınmaktadır. Kazıklı radye temel tasarımında radyenin, zemine temas ettiği durumda, etki eden yükün %60-75'ini kazıkların, kalan kısmının da radyenin taşıdığı kabul edilmektedir. Bu yöntemde yükler eşit olarak kazıklara dağıtılarak toplam oturma kontrol edilmeye çalışılır.

**Çekme Kazığı Yaklaşımı:** Kazıklar çekme kazığı olarak nihai yük taşıma kapasitesinin %70-80'e kadar yüklenmesiyle sünmenin olduğu kabul edilir. Kazık-Radye arasındaki gerilmenin, ön konsolidasyon basıncından yüksek olmayacak şekilde kazık sayısı belirlenir (Gök, 2007).

**Farklı Oturmaların Kontrolü Yaklaşımı:** Toplam oturmaları azaltmaktan daha çok farklı oturmaları azaltmak amacıyla radye altında olduğu bölgelere uygun boyutlarda kazıkların yerleştirilmesini belirten bir yöntemdir (Randolph 1994).

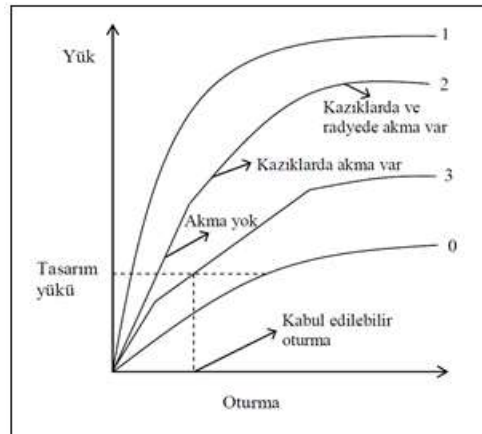
İlk iki yaklaşımda (geleneksel ve çekme kazığı) kazıkların radye temel altında düzgün (üniform) olarak dağıtılmasıyla toplam oturmanın azaltılması amaçlanırken diğer üçüncü yaklaşımda farklı oturma değerlerinin kontrol edilmesi amaçlanmaktadır.

Viggiani (2001) kazıklı radye temelleri iki ayrı sınıfta ele almıştır. Bunlar:

- Küçük kazıklı radye temeller: Radye genişliği 5-15 m olan temeller için kazık ilave ederek taşıma gücünü arttırmak.
- Büyük kazıklı radye temeller: Radye temel genişliğinin kazık uzunluğundan büyük olduğu durumlarda uygulanan yükün taşıma kapasitesi yeterli fakat kazıkların oturma miktarının azaltılması gereken temel sistemleri için tanımlamıştır.

Bu iki tanımlama Randolph (1994)'ün yaptığı yaklaşımlara benzediği görülmektedir.

Poulos (2001) kazıklı radye temellerde kazıkların oturmayı azaltmak ve de farklı oturmaları gidermek için amaçlandığını belirtmiştir. Kazıklı radye temellerin tasarımında üstyapıdan gelen yüklerin zemine aktarılması için temel sistemini oluşturan elemanlara ait kazık sayısı, aralığı, boyu, rijitliği, temel şekli ve zeminin mühendislik özellikleri temel sisteminin davranışı açısından önemlidir. Şekil 5.2'de bu yaklaşımlara göre boyutlandırılan kazıklı radyelerin yük-oturma davranışı görülmektedir (Poulos 2001).



**Şekil 5.2.** Kazıklı radye temellerin farklı yaklaşımlara göre yük-oturma grafiği (Poulos, 2001)

Şekil 5.2'de 0 no'lu eğride radye temelin tasarım yükü altında kabul edilebilir oturma miktarlarını aştığı görülmektedir. 1 numaralı eğri yükün büyük kısmını kazıkların taşıdığı durumu ifade etmektedir. 2 numaralı eğri çekme kazığı yaklaşımına dayanarak tasarım yapılan kazıklı radye temel örneğidir. Kazıkların tasarım yükü altında tam kapasitede çalışan ve oturmaların engellendiği durum 3 numaralı eğri ile ifade edilmektedir. Eğriler karşılaştırıldığı zaman ekonomiklik ve güvenlik konusunda en ideal çözümleri veren doğrusallığa yakın olan 3 numaralı eğridir. 3 numaralı eğri dikkate alınarak yapılan boyutlandırmanın en güvenilir sonucu verdiğini öne sürmüştür.

Poulos (2001)'a göre kazıklı radye temelin tasarımı üç aşamadan oluşmaktadır:

1. İlk aşama: Kazıklı radye temelin kullanımının uygulanabilirliği değerlendirilir ve tasarım gereksinimlerini karşılayacak kazık sayısı belirlenir. Radye temelin taşıma gücü, toplam ve farklı oturmaları bulunur. Eğer radye ihtiyaç duyulan taşıma kapasitesinin çok az kısmını karşılıyorsa, temel sistemi geleneksel yaklaşıma göre projelendirilmelidir. Ancak radye hemen hemen veya tamamen üstyapı yükünü taşıyabiliyorsa, sünme kazığı veya farklı oturmaların kontrolü yaklaşımını kullanmak daha ekonomik bir çözüm olacaktır.
2. İkinci aşama: Kazıkların yükleme durumuna göre kazıklara ihtiyaç duyulan bölgeler ve kazık özellikleri kabaca belirlenir.
3. Son aşama: Optimum kazık sayısı, yeri ve yerleşimi belirlenir. Radyedeki oturma, eğilme momenti, kesme kuvvetleri ile kazıklardaki yük ve moment dağılımı bulunur. Temel sisteminin davranışı sayısal analiz yöntemleri yardımıyla detaylı bir şekilde analiz edilir.

Mandolini ve diğ., (2006), kazıklı radye tasarımında, "kullanıma hazır" diye tanımladıkları noktaları aşağıdaki gibi sıralamışlardır:

- Kazık sayısını arttırmanın yararlı olduğunu ama her zaman en uygun sonucu vermez. Kullanılacak kazık sayısı için bir üst limit vardır ve bu değerden sonraki ilave kazıklar önemli bir fayda sağlamayacaktır.
- Toplam oturmayı azaltmak için en uygun çözüm, radye genişliğinden daha uzun kazıkları, radye alanının tümüne düzgün yayılı yerleştirmektir. Ancak büyük boyutlu radyelerde ( $B_r > 15m$ ), toplam oturma kazıkların ilavesi ile çok fazla azalmayacaktır.

- Farklı oturmalari azaltmak için gerekli görülen uygun bölgeye az sayıda kazık yerleştirmek, radye kalınlığını arttırmaktan veya tüm radye alanına düzgün yayılı dağıtılmış çok sayıda kazık kullanmaktan daha iyi sonuç verecektir. Kazıklar için en uygun bölge yükleme şartlarına bağlıdır. Düzgün yayılı yük halinde, kazıkların radyenin merkez bölgesine yerleştirilmeleri en doğru çözümdür (Viggiani, 2001; Prakoso ve Kulhawy, 2001; Horikoshi ve Randolph, 2000). Kazıklar ne kadar uzun ise farklı oturmalarda elde edilecek azalma o kadar fazla olacaktır.
- Radye kalınlığı, farklı oturmalari ve eğilme momentlerini etkilemektedir, ancak kazıklar ile radye arasındaki yük dağılımı ve toplam oturma üzerinde etkisi çok azdır.

Herhangi bir temel sisteminde olduğu gibi kazıklı radye temelin tasarımı ve analizlerinde göz önünde tutulması gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Birand, 2007):

- Moment, düşey ve yatay yükler altında nihai taşıma gücü
- Maksimum ve farklı oturma
- Radye plağının tasarımı için momentler ve kesme kuvvetleri
- Kazıkların yapısal tasarımı için kazık yükleri ve momentler

Bu durumlar dikkate alındığında kazıklı radye temellerin doğru analiz edilerek, gerekli kriterleri sağlayan boyutlandırmanın, ekonomik olarak da optimum tasarlanması gerekir. Kazıklı radye temellerin analiz edilmesi için üç farklı yöntem geliştirilmiştir ve bu yöntemler şu şekilde sıralanabilir (Birand, 2007):

- Basitleştirilmiş Hesap Yöntemleri
- Yaklaşık Sayısal Analiz Yöntemleri
- İleri Sayısal Analiz Yöntemleri

### **5.3.1. Basitleştirilmiş hesap yöntemleri**

Matematik tabanlı çözümler içeren bu yöntem, Poulos ve Davis (1980), Randolph (1994), Van Impe (1991) ve Burland (1995) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem aynı zamanda zemin profili ile radye temelin boyutlandırması durumlarını açıklar niteliktedir. Aynı zamanda kazık-zemin-kazık etkileşimini dikkate almaktadır. Zemin elastik gibi kabul edildiği için, kazık-zemin arasındaki ilişki elastisite teorisi ile irdelenmektedir.

### 5.3.1.1. Poulos ve Davis yöntemi

Poulos ve Davis (1980) tarafından geliştirilen bu yöntemde, kazık ve radyenin yük-oturma eğrisi basitleştirilmektedir. Bu yöntemde göre, kazıklı radye temel sisteminde kazık ve radyenin rijitliği elastik teorisi ile belirlenir.

### 5.3.1.2. Randolph yöntemi

Kazıklı radye temel sisteminde, kazık ve radye arasındaki yük paylaşımını açıklar nitelikte ki bu yöntem Randolph (1994) tarafından geliştirilmiştir. Yük paylaşım oranının tespiti için formüller önerilmektedir. Denklem 5.3'te de formülize edildiği üzere, kazıklı radyenin rijitliği şu şekilde ifade edilmektedir.

$$K_{kr} = \frac{1-0,6\left(\frac{K_{radye}}{K_{kazık}}\right)}{1-0,64\left(\frac{K_{radye}}{K_{kazık}}\right)} \times K_{kazık} \quad (5.3)$$

Burada;  $K_{kr}$ : Kazıklı radye rijitliği,  $K_{radye}$ : Radye temelin rijitliği,  $K_{kazık}$ : Kazık temelin rijitliğini ifade etmektedir.

Kazıklar ile radye temelin taşıdığı yük oranı Denklem 5.4'e göre, formül olarak şu şekilde gösterilebilir.

$$\frac{P_{radye}}{P_{kazık}} = \frac{0,2}{1-0,8\left(\frac{K_{radye}}{K_{kazık}}\right)} \times \left(\frac{K_{radye}}{K_{kazık}}\right) \quad (5.4)$$

$P_{radye}$ : Radye temelin taşıdığı yük

$P_{kazık}$ : Kazıkların taşıdığı yük

### 5.3.1.3. Poulos-Davis-Randolph yöntemi (PDR)

Bu yöntemde göre kazıklı radye temelin taşıma kapasitesi, "Radyenin ve kazıkların taşıma kapasitelerinin toplamı" ve "Radye ve kazık grubunun oluşturduğu bloğun tamamının taşıma gücü" değerlerinden az olan hangisi ise o seçilir. Poulos ve Davis' in (1980) yaklaşımına benzer şekilde ilerlenmiş ve Randolph (1994) tarafından kazık ve radyenin etkileşimini ifade eden etkileşim faktörü ilave edilmiştir ve güvenlik artırılmıştır.

### 5.3.1.4. Burland yöntemi

Burland (1995) tarafından geliştirilen kazıkların oturmayı azaltmak için kullanıldığı kazıklı radye temel sistemlerinde, kullanılan basitleştirilmiş bir yöntemdir. Tasarım yükünde oluşan oturma miktarı bulunur. Toplam oturma miktarı ve buna denk gelen yük grafik yardımı ile belirlenir. Elde edilen yük, kazıklar tarafından taşınan yüküdür. Kazıkların maksimum yüke ulaşacağı düşünüldüğü için güvenlik sayısı 1 olarak alınır.

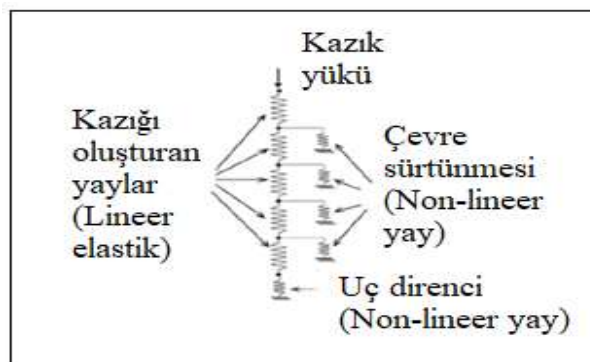
### 5.3.2. Yaklaşık analiz yöntemleri

Yaklaşık analiz yöntemleri, adından da anlaşılacağı üzere yaklaşık çözümler sunan yöntemlerdir ve genel anlamda 2 ana başlık altında toplanabilir.

#### 5.3.2.1. Yaylar üzerinde şerit temel yaklaşımı (GASP)

Bu yöntemde radye şerit olarak, kazıklarda yay olarak modellenmektedir. Kazık-zemin-radye etkileşimleri Poulos (1991) tarafından geliştirilen elastik teori yardımı ile bulunur. Bu yaklaşım birçok modelleme yazılımında kullanılmaktadır. Kazıklı radye temellerin yaylar üzerinde şerit temel yaklaşımı ile analizinde, zemin non-lineer özelliklere sahipmiş gibi hesaba katılır. Kazık zerine etki eden yüklerde etkiyen basınç değerlerini aşmayacak şekilde sınır değerlerle sınırlandırılır.

Katzenbach (1998) yaptığı çalışmalarla, Şekil 5.3'te görüldüğü üzere, kazıklar ve üzerine etki yüklerde dahil olmak üzere, ortaya çıkan davranış mekanizması da yaylarla modellenmiştir. Radye temel sisteminin de kazıkların taşıdığı yüke katkı sağladığı gösterilmiştir. Şekil 5.3'te üzerine etkiyen yükü yaylı sistem olarak, kazıklara ve zemine aktarmaktadır (Katzenbach, 1998).



Şekil 5.3. Kazık ve çevre zemininin yaylarla modellenerek analiz edilmesi

### 5.3.2.2. Yaylar üzerinde plak temel yaklaşımı (GARP)

Bu yöntemde, radye elastik bir plak, zemin yapısı da elastik bir düzlem olarak modellenir ve analiz edilir. Fakat bu yaklaşımda bazı olumsuzluklar gözlenmiştir. Bu olumsuzlukların nedeni ise, kazık-zemin-radye etkileşimleri ihmal edilmiştir ve bu nedenle kazık-radye rijitlikleri olması gerekenden daha fazla çıkmıştır (Birand, 2007).

Poulos (1994), kazık etkileşim faktörlerini dikkate almış ve radyenin tanımlanması için sonlu farklar yöntemini kullanarak GARP, olarak kısaltılan “Kazıklı Radye Temellerin Geoteknik Analizi” isimli programı geliştirmişlerdir. Bu program yardımı ile tabakalı zemin araziye uygun olarak modellenenmektedir. Kazıklara ve radyeye gelen yükten dolayı oluşan göçme davranışının sistemde oluşturacağı etki gözlemlenebilmektedir.

### 5.3.3. İleri sayısal analiz yöntemleri

Bu yöntemde, kazıklı radye temel sistemleri, sınır eleman metodu, sonlu elemanlar metodu veya her ikisinden de esinlenerek geliştirilen metot olmak üzere üç çözümlene yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler dikkate alınarak, kazıklı radye temel analizleri ve modellemeleri yapabilen, yazılımlar geliştirilmiştir.

#### 5.3.3.1. Sınır eleman yöntemi

Bu yöntemde radye ve kazıklar parçalara ayrılır. Zemin davranışı Mindlin (1936) tarafından geliştirilen fonksiyon yardımıyla tespit edilir. Temelin davranış mekanizması ise, sonlu elemanlar veya farklar yöntemi ile analiz edilir. Bu fonksiyon homojen doğrusal elastik ortam için uygun olduğundan, doğrusal olmayan davranış mekanizması, kazık boyunca ek fonksiyonlar analize eklenerek dikkate alınabilir (Griffiths, 1991). Kazıklı radye temellerde elastik ortam kabulü yapılarak analiz edilirse kazık grubunun boyutlarına ve aralarındaki mesafeye bağlı olarak, radye zeminle temas ederse, sistem rijitliğini %5-15 oranında, yükün radye tarafından taşınma durumunu ise %15-25 oranında arttırdığı gözlenmiştir (Gök, 2007). Çalışmalar sonucunda bu yöntemde, kazık en boy oranına ve kazıklar arası mesafe ile kazık çapı oranına bağlı olarak radyenin toplam yükün %20 ile %40 arasında gelen yükü taşıdığı gözlenmiştir (Gök, 2007).



### 5.3.3.2. Basitleştirilmiş sonlu elemanlar yöntemi

Analizlerin uzun zaman sürmesi nedeni ile üç boyutlu analizlerde bazı sadeleştirmeler yapılmaktadır. Bu yöntemle doğrusal olmayan davranışta hesaba katılmaktadır. Bu yöntemle göre, kazıkların yük taşıma davranışlarını eksenal rijitlikleri de dikkate alınarak, iki boyutlu düzlem deformasyon problemine dönüştürülebilmektedir.

### 5.3.3.4. Üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi

Genel bir tanımlama yapılacak olursa, sonlu elemanlar yöntemi, geoteknik mühendisliğinde, şevlerin stabilite problemlerinde, tünel, baraj, temel modellemesinde ve problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Son yıllarda daha pratik olması nedeniyle bu yöntemler analiz programları da dikkate alınarak kullanılmaktadır. PLAXIS 3D, FLAC 3D gibi birçok yazılım sonlu elemanlar ve sonlu farklar yönteminin kullanıldığı bilgisayar yazılımlarıdır.

## 5.4. Kazıklı Radye Temelleri Oturma Davranışının İncelenmesi

Kazıklı radye temeller bilindiği üzere yükün daha derin zemin tabakalarına aktarılmasının gereklilik oluşturduğu durumlarda modellenmektedir. Özellikle temel zemininde, gelen yüke karşılık oturma miktarının sınırlandırılmak istendiği durumlarda, kazıklı radye temel modellemesi yapılmaktadır. Dolayısı ile kazıklı radye temellere etkiyen yük durumunda, beklenen oturma değeri, tekil kazıkların veya radye temellerin bireysel oturma miktarından daha düşüktür (Ateş, 2019). Yükün güvenli taşınmasının yanı sıra, oturmayı da sınırlandırması amacı ile kullanılan kazıklı radye temellerde, oturma davranışının incelenmesi önemli ve dikkat edilmesi gereken bir konudur. Bu noktada, turma miktarının hesaplanmasına yönelik yaklaşık yöntemler önerilmiştir. Vesic (1977), kazıklı radye temellerdeki oturma miktarının tespit edilmesi için Denklem 5.5'i önermiştir.

$$S_{kg} = S_{kazık} (B_{kg} / D_{kazık})^{-1/2} \quad (5.5)$$

$S_{kg}$ : Kazık grubunda oluşan toplam oturma

$S_{kazık}$ : Tek bir kazıkta oluşan oturma

$B_{kg}$ : Kazık grubunun genişliği

$D_{kazık}$ : Kazık çapı

## 6. METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

### 6.1. Optimizasyon

Optimizasyon, bir sistemde varolan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir tanımlamaya göre, belirli amaçları gerçekleştirebilmek adına, eldeki, kaynak ve verilerin, en verimli şekilde kullanılarak, matematiksel olarak formülize edilmesine optimizasyon denir. Optimizasyonun diğer adı en iyilemedir. Optimizasyon bir fonksiyonu minimize veya maksimize ederek, fonksiyonu sistematik olarak tanımlar, inceler ve optimum çözüm sunar (Kubat 2013, Karaboğa 2014).

Optimizasyon, günümüzde birçok problemin çözümünde, maliyeti minimuma indirerek, kazancı maksimum yapmayı amaçlayan problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılan ve her zaman en iyiyi bulma arayışında olan bir yöntemdir. Optimizasyon içerisinde iki farklı aşama bulunmaktadır. İlk aşama modelleme, ikinci aşama ise, analiz etmektir (Tan ve Bora, 2017).

Optimizasyon yöntemleri mühendislik problemlerinin çözümü içinde uygun veriler oluşturmaktadır. Bu doğrultuda tasarlanması planlanan yapıların minimum maliyet ve boyutlandırma ile, maksimum kazanç ve verim elde edecek şekilde boyutlandırılması konusunda optimizasyon rehber niteliği taşımaktadır. Bu nedenle araştırmacılar, mühendislik problemlerinin çözümünde, her geçen gün daha çok araştırma yapmakta ve en ideal çözümü bulmaya çalışmaktadır. Optimizasyon gerçel bir fonksiyonu en küçük değere ya da en büyük değere yaklaştırmak amacı ile, gerçel veya tamsayı değerlerini, belirli bir aralıkta, üzerinde çalışılan fonksiyona uygulanarak, sistematik bir şekilde problemi analiz eder ve çözer. Optimizasyon çözümlerini ilk olarak Yunan matematikçiler araştırmıştır. Optimizasyon aşamalarını sağlayarak problemi ortaya koymak ve problemi modellemek, tasarlanan modeli çözmek araştırmacıların hedeflediği noktadır. Bu nedenlerle doğadan esinlenilerek algoritmalar geliştirilmiştir. Tercih edilen optimizasyon algoritmalarının, oluşturulan matematiksel modellerin, tekniksel anlamda, önemli bir desteği sunabilen nitelikte olmalıdır. Yapılması gereken ilk kabul kusursuz algoritmanın olmamasıdır (Uray, 2020).

Araştırmacının en iyiyi bulmak noktasında, kullandığı algoritmayı, geliştirerek kendi problemine uyarlaması gerekir. Optimum algoritmayı bulabilmek için bazen,

deneme yanılma yöntemine, bazen de önce ki zamanlarda diğer araştırmacıların yaptıkları çalışmalar sonucu elde ettiği verilere bakmak gerekir. Aynı zamanda çözmeye çalıştığımız probleme göre en iyi çalışan ve çözümü veren algoritmanın seçilmesi gerekir. Euclid, milattan önce 300' lü yıllarda, dört kenarı aynı mesafeye sahip dörtgenler arasında en büyük alan değerine geometrik olarak, karenin sahip olduğunu çalışmalarında göstermiştir (Yang, 2009).

Goldberg (1989) tarafından geliştirilen “Genetik Arama Algoritması” sayesinde mühendislik problemlerinin optimizasyonun da karşılaşılan birçok sorunun üstesinden gelmeyi sağlamıştır. Doğada ki canlı yaşamını bilgisayar ortamına uyarlayarak, kavramların aktarımı ile, sezgisel yöntemlerin gerek ayrık çözüm üretilmesi nedeni ile, gerekse başlangıç noktasına bakılmaksızın global optimuma yakın çözümler yakalayabilmesinden dolayı tüm disiplinler tarafından kabul görmektedir.

Genetik algoritmanın doğru çözümler verdiğini görmek, diğer araştırmacılarında farklı algoritmaların geliştirilmesi konusunda çalışmasına önayak olmuştur. Benzetimli tavlama (Kirkpatrick ve dig., 1983), tabu arama (Glover, 1977), karınca koloni (Dorigo ve Gambardella, 1997), harmoni arama (Geem ve ark., 2001) ve parçacık sürü optimizasyonu (Kennedy ve Eberhart, 1995), suni arı kolonisi algoritması (Karaboğa, 2005), ateş böceği algoritması (Yang, 2009), guguk kuşu algoritması (Rajabioun, 2011) gibi birçok araştırmacının ortaya koyduğu algoritmalar, diğer araştırmacılara da ilham olmuş ve birçok algoritmanın kullanımı geliştirerek devam etmektedir.

Genel anlamda, sezgisel optimizasyon algoritmaları klasik çözüm yöntemlerine göre, şu ayrıcalıkları sağlamaktadır.

- Sonuçları elde edilen bulgulara dayanan yöntemlerdir.
- Algoritmalar doğada gözlenen sıradan olayların, matematiksel olarak formüllere dökülerek tanımlanması ile oluşmaktadır.
- Optimum çözümü bulma konusunda daha iyi oldukları gözlenmektedir.

Bu tez çalışmasında, çözümü karmaşık olan, tasarımcının modellenmesine dayanan ve güvenliği sağlamanın yanı sıra, yüksek maliyetli olarak tanımlanan “Kazıklı Radye Temellerin” optimum çözümü algoritmalar yardımı ile araştırılmaktadır. Bu noktada ilk olarak, kazıklı radye temeller, matematiksel model olarak seçilen ve oturma esaslı çalışan Randolph hesap yöntemi ile kodlanarak tanımlanmıştır. Kodlama da Randolph hesap yönteminde yer alan ve gerçek boyutlu bir kazıklı radye temel projesinden alınan

parametreler, sisteme girilerek analiz edilmiş ve toplam oturma miktarının, geoteknik ve yapı parametreleri değiştirildiğinde ortaya çıkan davranışları ile, elde edilen sonuçlar çizelgeler halinde sunulmuş ve grafiksel olarak tanımlanmıştır. Kazıklı radye temellerde, kazık ve radye boyutlarının, zeminin geoteknik özellikleri değiştirilerek, oturma davranışına etkileri incelenmiştir. Ayrıca halen net olmayan çözümlere dayanan “Kazıklı Radye Temel” tasarımı konusunda boyut etkisi yorumlanmaktadır.

Bölüm 8’de, beton maliyetini minimum yapmaya çalışan amaç fonksiyonu ve yapı güvenliğini sağlayan sınırlayıcı fonksiyonları sisteme dahil edilerek, “Harmoni Arama Algoritması (HAA)” ve “Yapay Arı Koloni Algoritması (YAKA)” kullanılmıştır. Belirlenen amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar algoritmalarda tanımlanmıştır. Üç farklı uygulama projesinin yapı ve zemin özellikleri dikkate alınarak her bir algoritma kodunda analizler yapılmıştır. Değişen parametrelerde elde edilen optimum boyutlar ve buna bağlı amaç fonksiyonunda elde edilen hacim değerleri çizelgeler ve grafikler halinde sunulmuştur. Optimum sonuçlar ile gerçekteki hacim değerleri karşılaştırılmıştır.

## 6.2. Harmoni Arama Algoritması

Sezgisel ve metasezgisel yöntemler, optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu problemlerde uygulanan metodun performansı, minimum toplam tamamlanma zamanına, katlanılabilir hesaplama sürelerinde erişebilmesiyle değerlendirilir. Yani yalnızca toplam tamamlanma zamanının kısalığı değil, aynı zamanda hesaplanma süresinin kısalığı da istenmektedir.

Karar değişkenleri için bir başlangıç çözümü gerektirmemesi ve optimizasyon çözümüne birden fazla çözümle birçok yönde genel optimum çözüm arayarak ilerlemesi harmoni arama algoritmasının sağladığı avantajlardandır. Algoritma bu özelliği sayesinde yerel optimum çözümlerden kurtulmaktadır. Harmoni arama algoritmasının bir diğer avantajı ise optimizasyon işlemlerinde hem sürekli hem de kesikli değişkenler ile çalışma imkânı sunmasıdır

Optimizasyon tekniği olarak kullanılan ve ilk olarak Geem ve diğ., (2001) tarafından geliştirilen harmoni arama algoritması, bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları ile harmoni açısından en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır. Algoritmanın prensibi kulağa en hoş gelen müzik notalarını bulmaktır. Matematik tabanlı çalışan ve doğru sonuçlar verdiği düşünülen bir algoritmadır. Harmoni arama

algoritmasının bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir (Mahdavi ve diğ., 2007). Harmoni arama algoritmasının bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Başlangıç değerlerine ihtiyaç duyulmaması,
- Lokal çözüme takılmadan global çözüme ulaşması,
- Hem ayrık hem de sürekli değişkenlerin kullanımına olanak sağlaması,
- Kısa sürede iterasyonların tamamlanarak, analizlerin yapılması.
- Harmoni arama algoritmasının mühendislik problemlerinin çözümlerinde kullanılması açısından avantajları şu şekilde sıralanabilir.
- Basit, güçlü ve anlaşılır bir algoritmaya sahiptir. Bu durum diğer algoritmalarla da uyumlu sonuçlar vermesine olanak sağlamaktadır.
- İterasyon sayısının fazla olduğu problemlerde uygun sonuçlar verir.
- Problem algoritmasının başlatılması için özel bir başlangıç değeri belirlemeye gerek yoktur.
- Çok fazla matematik bilgisine ihtiyaç duymaz ve türev bilmeyi gerektirmez.
- Birden fazla çözümle optimizasyona devam ettiği için, birçok genel optimum çözümü aramaktadır ve lokal çözümlere takılmaz.
- Sürekli, ayrık ve tamsayı değişkenleri kullanılabilir.
- Harmoni arama algoritması uygulanması basit bir kod olduğu için daha hızlı çalışan bir algoritmadır.

Kougias ve Theodosiou (2010) yaptıkları çalışmada, farklı veri tabanları üzerinde incelemeler yaparak, HAA'nın kullanım oranını literatür araştırması ile tespit etmişlerdir. Son yıllarda HAA'nın kullanımının hızlı arttığı ve yaygınlaştığı görülmüştür.

### 6.2.1. Tanım ve genel kavramlar

**Harmoni:** Müzikte birbirinden farklı veya aynı iki notanın yan yana gelmesi durumunda, kulağı rahatsız etmeyen, hoş bir ses çıkarmasına harmoni denir.

**Akort:** Müzik aletlerinin kullanımında, istenen sesin alınabilmesi için müzisyenin yaptığı ayardır.

**Harmoni arama algoritması:** Müzisyenlerin müzik notalarını belirli bir dizilimle oluşturması işlemidir. En iyi harmoniyi bulma fikri temel amaçtır. Problem çözümünde en iyi optimumu bulmak harmoni arama algoritması olarak tanımlanır.

Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar: Maksimum veya minimum değerlerinin araştırıldığı problemlerin çözümünde, optimizasyonunun sağlanabilmesi amacıyla, sisteme dahil edilen iki ana fonksiyon vardır. Bu fonksiyonlar, problemin çözümünün araştırıldığı amaç fonksiyonu ve sınırlarını belirleyen sınırlayıcı fonksiyonlarıdır. Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonlar genel anlamda şu şekilde tanımlanır.

Amaç fonksiyonu:  $f(x)$

Sınırlayıcılar:  $g_{i(x)} \leq 0$   $i=1, \dots, n$  ( $x_1 \leq x_i \leq x_n$ )

Tasarım değişkenleri  $n$  sayıdadır ve değer aralıkları  $x_1$  ve  $x_u$  arasındadır. Sınırlayıcı fonksiyonlar  $g(x)$  ve amaç fonksiyonu  $f(x)$  dir. Aranılan optimum tasarım değeri sınırlayıcı aralıklarını sağlayan tasarım uzayında yer almalıdır (Akin ve Saka, 2010). Sınırlayıcılar ve alt üst limitleri sağlayan amaç fonksiyonu  $f(x)$  problemin maksimum veya minimum optimum çözümüdür.

Tasarım uzayı: Problemin doğasına aykırı olmamak şartıyla belirlenen ve amaç fonksiyonun çözümünde belirleyici görevi gören aralıktır. Sürekli, ayrık ve tam sayı tasarım değişkenleri olarak üçe ayrılır.

Harmoni matrisi (HM): Algoritmada, tasarım değişkenlerinden oluşan çözüm vektörlerini ve hesaplanan amaç fonksiyon değerlerini içerisinde saklayan matristir.

Harmoni matrisi kapasitesi (HMS): Çözüm sürecini kontrol eden harmoni matrisinin çözüm sayıdır. Çözüm vektörlerinin sayısına eşittir.

Harmoni matrisini dikkate alma oranı (HMCR): Optimum çözümün bulunmasında önemli bir parametredir ve çözüm vektörünün oluşmasında tasarım değişkenlerinin harmoni arama matrisinden seçilme olasılığını gösterir. HMCR değeri, 0 ile 1 arasında değişmektedir ve 1 olması durumunda harmoni matrisinin içerisinde depolanmayan değerlerin çözümü güncelleme ihtimali olmayacağı için tavsiye edilmemektedir.

Ton ayarlama oranı (PAR): Müzikte ton ayarlama olduğu gibi komşu tasarım değerinin seçilme olasılığını ifade eder.

Maksimum iterasyon sayısı (max\_iter): Amaç fonksiyonun kaç kere denenerek optimum çözümün aranacağını belirleyen sayıdır. Optimum değerlerin değişmediği deneme sayısı dikkate alınmalıdır.

### 6.2.2. Harmoni arama algoritması işlem adımları

Geliştirilen ve en iyi uyumlu müziği bulma mantığına dayanan harmoni arama algoritması için akış diyagramı Şekil 6.1’de tanımlanmıştır (Lee ve Geem, 2004). En iyi en optimum çözümü bulana kadar algoritma çalışmaya devam eder ve işlem adımları 5 adımdan oluşur.

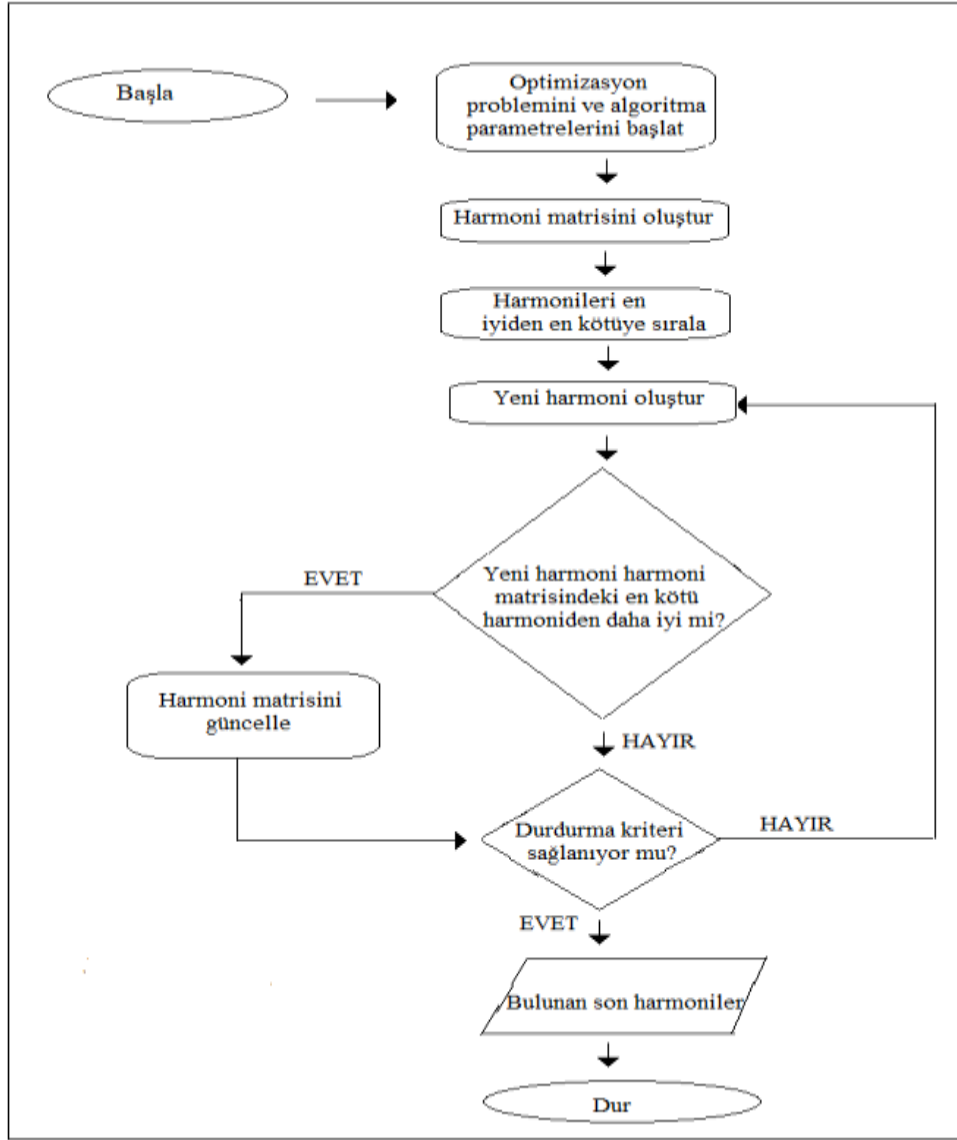
**Adım 1: (Optimizasyon problem parametrelerinin ve algoritma parametrelerinin belirlenmesi)** Çözüm sürecini kontrol eden HMS, HMCR, PAR ve maksimum iterasyon sayısı, amaç fonksiyonu, alt üst limitler, sınırlayıcı fonksiyonları belirlenir.

**Adım 2: (Harmoni matrisinin oluşturulması)** Tasarım uzayından seçilen rastgele değerlerden oluşur. Rastgele seçilen tasarım değişkenleri ve bu değerlerle hesaplamalar sonucunda oluşan amaç fonksiyonu değerlerini içerisinde barındıran bellekten oluşur.

**Adım 3: (Yeni harmoninin oluşturulması)** Yeni çözüm vektörü rastgele seçim ve ton ayarlama kurallarına bağlı olarak oluşturulur. HMCR olasılığına göre HM matrisinde yer alan çözüm vektörleri HM den rastgele seçilir.

**Adım 4: (Harmoni belleğinin incelenmesi)** Yeni oluşturulan harmoni vektörü, harmoni matrisinde yer alan en kötü çözüm ile karşılaştırılır. En kötü harmoniye sahip çözüm, miznimizasyonun araştırıldığı amaç fonksiyonu problemi için elde edilen en büyük sonuçtur. Bu en kötü sonuç harmoniden uzaklaştırılarak, yerine en iyi harmoniye sahip yeni çözüm vektörü yerleştirir ve diğer adıma geçilir.

**Adım 5: (Algoritmanın durma koşulunun kontrolü)** Bu adımda belirlenen maksimum iterasyon sayısına, algoritma işletme sayısının ulaşip ulaşmadığı kontrol edilir. Maksimum iterasyon sayısı ile durdurma kriteri sağlanmışsa, algoritma sonlandırılır. Eğer sağlanmamışsa önceki adımlara tekrar dönülür.



Şekil 6.1. HAA akış diyagramı (Lee ve Geem, 2004)

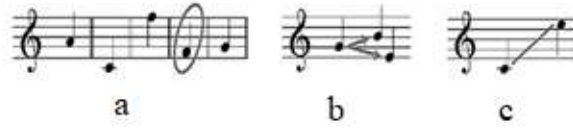
### 6.2.3. Harmoni arama algoritması ile müzik notaları arasındaki ilişkisi

Müzisyenlerin daha uyumlu bir harmoni elde etmek amacıyla, enstrümanlarına akort ayarı yaptıkları, önceden belirlenen en iyi notayı çalmaları, en uyumlu komşu notayı tespit ederek oluşturdukları harmoni mantığı ile benzer çalışan harmoni arama algoritması da optimizasyonu araştırılan problemin amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı alt üst limitleri ve sınırlayıcı fonksiyonları ile en iyi harmoniyi elde etmeyi amaçlamaktadır. Müzikte de en iyi harmoniye ulaşılan kadar defalarca deneme yanılma yapılmaktadır. Müzikte kullanılan enstrümanlar, harmoni arama algoritmasında ki tasarım uzayına, en iyi müzik nota dizilimi ise, optimizasyon probleminin amaç fonksiyonunun en optimum çözümüne karşılık gelmektedir. Bir müzisyen yeni bir harmoni oluştururken şu kuralları dikkate alır.



- Hafızasındaki bir notayı çalar ve bu durum harmani matrisinden bir değer seçmeye denk gelir (HMCR).
- Hafızasından uyumlu olan komşu notayı seçer ve bu durum mümkün olan komşu değerın seçilmesine denk gelir (PAR).
- Notalar arasından rastgele bir nota seçilir ve bu durumda, tasarım uzayından rastgele bir değer seçilmesine karşılık gelir (HMCR).

Çarbaş ve Saka (2009) bir müziğin doğaçlama olarak ortaya çıkma aşamalarını Şekil 6.2’de görüldüğü üzere üç aşamada tanımlamışlardır. Birinci aşama rastgele bir nota çalma, ikinci aşama enstrümanın akort edilmesi ve son aşama ise rastgele nota seçilmesidir.



**Şekil 6.2.** Bir müziğin doğaçlama olarak ortaya çıkma aşamaları; (a) Rastgele bir nota çalma, (b) Enstrümanın akort edilmesi, (c) Rastgele nota seçimi (Çarbaş ve Saka, 2009)

**Çizelge 6.1.** Müzikteki harmoni bulma süreci ile HAA arasındaki ilişki (Uray, 2020)

Müzikte harmoni bulma süreci	Harmoni arama algoritması
Orkestra	Çözüm uzayı
Müzik enstrümanı	Değişken sayısı
Müzikte estetik	Amaç fonksiyonu
Harmoni	Çözüm vektörü
Enstrüman akordu	Ton ayarlama oranı
Deneyim	Harmoni belleği
Prova	İterasyon

Çizelge 6.1’de harmoni arama algoritmasının işlem adımları ile müzikte harmoni oluşturma işlem adımlarının uyumu sınıflandırılmıştır. Her iki durumda da amaç en iyi harmoniyi bulmak olarak düşünülebilir.

### 6.3. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Sürü zekâsı tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır. Bal arılarının doğadaki besin arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir. Karaboğa (2005), tarafından geliştirilen algoritma, sürü halinde yaşayan arıların, beslenme, savunma gibi temel yaşam ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla sergiledikleri davranışları baz alır.

Optimizasyon problemlerinde değerlendirilmesi gereken parametre sayısı kadar bir çözüm uzayı oluşturulur. Çözüm uzayındaki her nokta, potansiyel bir çözüm adayıdır. Bu çözüm noktaları, yapay arı kolonisi algoritmasında, birer besin kaynağı olarak

yorumlanır. Arılar arama uzayında, çözüm noktaları arasında konum değiştirir. Her arı üzerinde bulunduğu besin ögesinin nektar miktarını ölçer. Çözümün uyum değeri nektar miktarına bağlıdır. Diğer arılara haber vermek amacıyla besin ögesini bulan arı, özel bir dansla nektarın yerini haber verir. Kendi aralarında konum değiştirerek daha iyi besin bulmaya çalışırlar. Arılarla ilgili birçok biyolojik tabanlı deneylerde yapılmıştır. Bu deneylerde ortama bırakılan şekerli suyun bir arının tespit etmesinden kısa bir süre sonra, diğer arılarında haberdar olarak, ortama geldiği gözlenmiştir (Frisch, 1927). Algoritmanın da belirli bir iterasyon sayısında çalışması sonucunda, tasarım uzayında, arılar tarafından bulunan en uygun besin kaynağının konumu problemin çözümü olarak nitelendirilir (Tunçbilek, 2018).

### 6.3.1. Tanım ve genel kavramlar

**Besin kaynağı:** Arıların yaşamlarını devam ettirebilmek amacıyla gereklilik arz eden, besinlerini bulabilmek için aradıkları kaynaktır. Kaynağın kalite değerlendirmesi, besin kaynağının uzaklığı, nektar miktarı ve çıkarılma kolaylığı gibi parametrelere göre farklılık göstermektedir. YAKA' da kullanılan arıların sayısı ile besin kaynağı sayısı (BS) eşittir.

**Görevli işçi arı:** Besin kaynağını arayan, bulan, nektar miktarını hesaplayan, bulunduğu kaynağı daha önce ki kaynaklarla kıyaslayan görevli arıdır. İşçi arıların nektarın miktarına göre, besinleri ya kovana taşırlar ya da diğer arıları bu besin kaynağına yönlendirirler. İşçi arılar besin kaynağını bitirdikten sonra, kâşif arıya dönüşürler ve yeni besin kaynakları aramaya başlarlar.

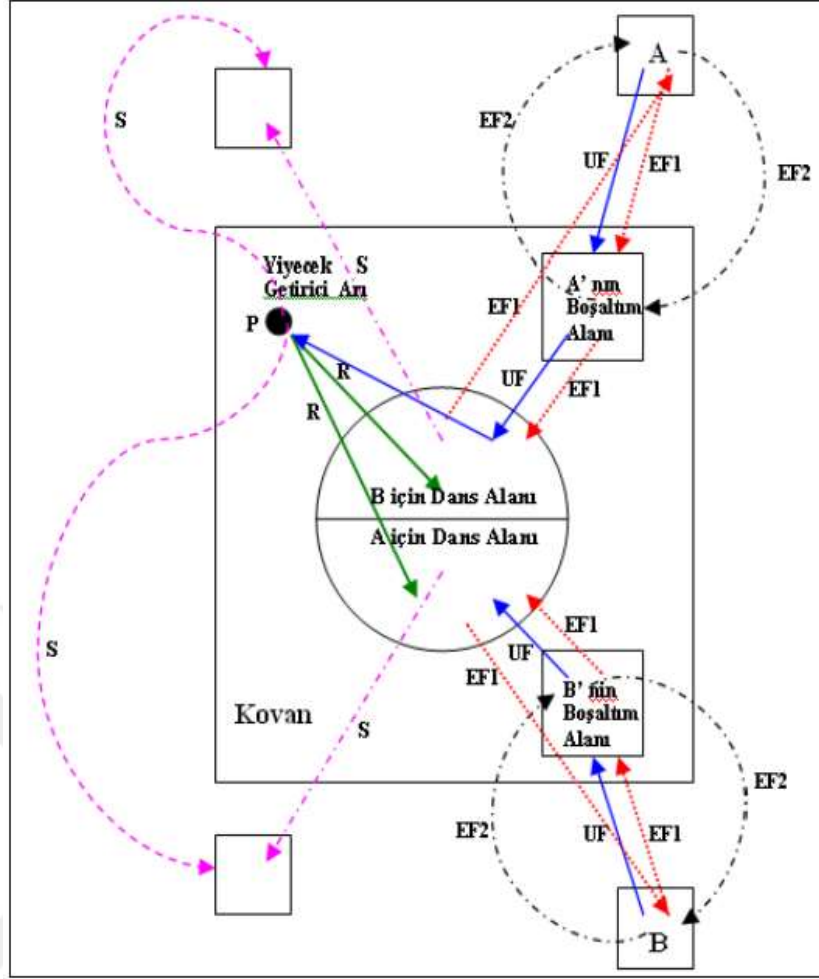
**Gözcü arı:** Daha önceden keşfedilen besin (yiyecek) kaynağını tespit eden işçi arı, eğer kovana haber vermeye giderse, kendine has kuyruk dansı ile diğer arılara, kaynağın konumunu, nektarın miktarını haber verir ve kovandaki arılarla bu yolla, bilgiyi paylaşır. Dansı izleyen gözcü arılar, miktar olarak daha fazla olduğunu düşündükleri besin kaynağını seçerler ve kovana nektar taşımaya başlarlar.

**Kâşif arı:** Kovanın çevresinde rastgele olabilme ihtimaline karşılık, besin kaynaklarını arayan, işçi arılardır. Besin kaynakları bulduklarında işçi arıya dönüşürler ve algoritmadan işçi arılar arasından sadece bir tanesinin tekrar kâşif arı olmasına izin verilir. Şekil 6.3'te işçi arı, gözcü arı ve kâşif arıların yiyecek arama çevrimleri ifade edilmiştir (Karaboğa, 2014).

Tüm zengin kaynaklarla ilgili bilgiler dans alanında gözcü arılara iletildiğinden, gözcü arılar birkaç dansı izledikten sonra hangisini tercih edeceğine karar verir. Yiyecek arayıcı arıların daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 6.3'teki verilen modelin incelenmesi faydalı olacaktır.

A ve B ile gösterilen iki keşfedilmiş kaynak bölgesi olduğunu varsayalım. Araştırma başlangıcında potansiyel yiyecek arayıcı, görevi belirsiz bir işçi arı olarak araştırmaya başlayacak ve bu arı kovan etrafındaki kaynakların yerinden haberdar değildir. Bu durumdaki arı için iki olası durum söz konusudur.

- Bu arı kâşif arı olabilir ve içsel ve dışsal etkilere bağlı olarak yiyecek aramaya başlayabilir (Şekil 6.3'te S ile gösterilmiştir).
- Bu arı kuyruk dansını izleyen gözcü arı olabilir ve izlediği dansla anlatılan kaynağa gidebilir (Şekil 6.3'te R ile gösterilmektedir). Bir kaynak keşfedildikten sonra arı imkanları dahilinde bu kaynağın yerini hafızaya alır ve hemen nektar toplamaya başlar. Bu arı artık nektarın zenginliğine göre görevli arı haline gelmiş olur. İşçi arı nektarı aldıktan sonra kovana döner ve bunu yiyecek depolayıcılara aktarır. Nektar aktarıldıktan sonra arı için üç seçenek ortaya çıkmaktadır:
  - 1. Gittiği kaynağı bırakarak bağımsız işçi olabilir (Şekil 6.3'te UF ile gösterilmiştir).
  - 2. Gittiği kaynağa dönmeden önce dans eder ve kovandaki arkadaşlarını da aynı kaynağa yönlendirebilir (Şekil 6.3'te EF1 ile gösterilmiştir).
  - 3. Diğer arıları yönlendirmeden direkt kaynağa gidebilir (Şekil 6.3'te EF2 ile gösterilmiştir).



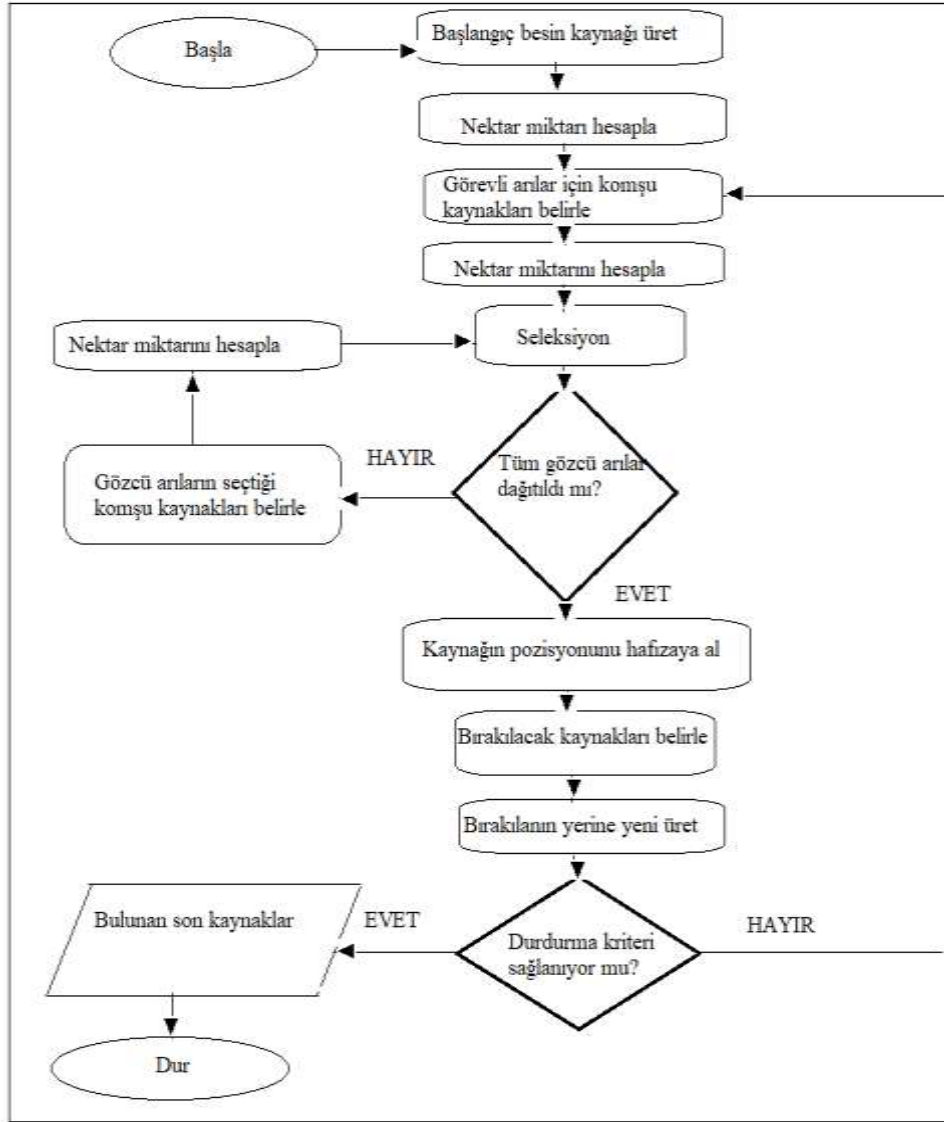
Şekil 6.3. Yiyecek arama çevrimi (Karaboğa, 2014)

Karaboğa (2014) tarafından yapılan çalışmalarda, YAKA’da besin kaynaklarının konumları, optimizasyon problemlerinin çözümünü, besin kaynağındaki nektar miktarı ise ilgili çözümün uygunluğunu (kalitesini) ifade etmektedir.

### 6.3.2. Yapay arı kolonisi algoritması işlem adımları

Sürü zekâsı mantığı ile çalışan, yiyecek arama davranışını prensip edinen ve buldukları besini nasıl taşıdıkları ile ilgili modellemeler sonucu ortaya çıkan yapay arı koloni algoritmasının işlem adımları Şekil 6.4’te gösterilen akış diyagramında yer almaktadır. Genel anlamı ile 5 adımdan oluşan bir algoritma sıralaması vardır.

**Adım 1: (Besin kaynağının başlangıç bölgesinin oluşturulması)** Tasarım değişkeni sayısının “N” ile ifade edildiği optimizasyon probleminde, besin kaynaklarının yerlerinin rastgele tespit edildiği adımdır. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir (Denklem 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6).



Şekil 6.4. Yapay arı kolonisi algoritmasının akış diyagramı ile gösterimi (Karaboğa, 2014)

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (6.1)$$

$$i = 1, \dots, BS \quad (6.2)$$

$$j = 1, \dots, N \quad (6.3)$$

$$x_j^{min} : J. Parametrenin alt sınırı \quad (6.4)$$

$$x_j^{max} : J. Parametrenin üst sınırı \quad (6.5)$$

$$rand(0,1): 0 ile 1 arasında olan rastgele sayı \quad (6.6)$$

Bu eşitlik kullanılarak, her bir satırı bir çözüm vektörüne yani besin kaynağına karşılık besin matrisine dönüştürür. Her amaç fonksiyonu için nektar miktarı bulunur.

**Adım 2: (İşçi arıların yiyecek kaynağına gönderilmesi)** İşçi arı, görevli olduğu besin kaynağının komşusu yeni bir besin kaynağı belirler ve bu besin kaynağının kalitesini değerlendirir. Besin kaynağının komşusu besin kaynağı, matematiksel olarak Denklem 6.7'deki eşitlikle ifade edilir (Akay ve Karaboğa, 2012)

$$v_{ij} = \begin{cases} x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}), \text{rand}(0,1) < MR \\ x_{ij}, \text{rand}(0,1) \geq MR \end{cases} \quad (6.7)$$

MR: Modifikasyon oranı

Bu eşitliğe göre,  $x_{ij}$ ,  $i$ . Mevcut besin kaynağının rastgele seçilen  $j$ . Tasarım parametresini ifade eder. BS aralığında rastgele seçilen  $k=1$ , BS aynı  $j$ . Değere sahip  $x_{ij}$  ve  $x_{kj}$  değerlerinin farkının  $(-1,1)$  arasında rastgele bir değer olan  $\phi_{ij}$  ile ağırlıklandırılıp mevcut kaynağa eklenmesi ile yeni kaynak  $V_{ij}$  tespit edilir. MR modifikasyon oranı olarak tanımlanmaktadır ve yeni kaynak geliştirilip geliştirilmeyeceğini kontrol eden bir parametredir. MR modifikasyon oranının 0.40 olarak alınması önerilmiştir (Akay ve Karaboğa, 2012).

$(x_{ij}-x_{kj})$  arasındaki fark azaldıkça, yeni kaynağın mevcut kaynaktan farklı olma durumu azalacaktır.  $V_{ij}$ 'nin alt ve üst sınırı aşması durumunda,  $j$ 'inci parametreye ait sınırlar kabul edilen sınırlara göre düzenlenir. Uygun görülen yeni besin kaynağı geliştirildikten sonra yeni kaynak için nektar miktarı sınırlayıcılarla birlikte uygunluk değeri fitness Denklem 6.8 ile hesaplanır.

$$fitness_i = \begin{cases} 1 / (1 + f_i), f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i), f_i < 0 \end{cases} \quad (6.8)$$

Eşitlikte ifade edilen  $f_i$ ,  $v_{ij}$ 'nin amaç fonksiyonudur. Mevcut kaynak ile yeni keşfedilen kaynağın uygunluk değerlerine ( $fitness_i$ ) göre kıyaslanır. Yeni kaynak mevcut değerden daha iyi bir uygunluğa sahipse, mevcut kaynak hafızadan silinir ve yeni kaynak hafızaya alınıp, sayaç sıfırlanır. Daha iyi bir uygunluk olmaması durumunda işçi arı mevcut besin kaynağına gitmeye devam eder, çözüm geliştirilemediği için sayaç bir arttırılır.

**Adım 3: (Olasılıksal seleksiyonda kullanılacak olasılık değerlerinin görevli arılardan gelen bilgiye göre hesaplanması)** Araştırmalarını tamamlayan işçi arılar kovana dönerek gözcü arılara, besin kaynaklarını aktarır. Matematiksel olarak bu durum Denklem 6.9 ile şu şekilde ifade edilir.

$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{j=1}^{BS} fitness_j} \quad (6.9)$$

**Adım 4: (Gözcü arıların yiyecek kaynağı bölgelerini seçmeleri)** (0, 1) aralığında besin kaynağı için rastgele sayı türetilip, bu sayısında  $P_i$  den büyük olması durumunda gözcü arı yeni bir çözüm geliştirir. Yeni çözümde nektar miktarına bakılır ve eski çözüm ile yeni çözüm kıyaslanır. Eski çözümden, yeni çözüm daha iyi ise, yeni çözüm hafızaya alınır ve sayaç sıfırlanır. Eğer eski çözüm yeni çözümden daha iyi ise, eski çözüm hafızada kalır ve sayaç bir artırılır. Bu işlem gözcü arıların kaynak bölgelerine dağılmasına kadar devam eder.

**Adım 5: (Biten kaynakların belirlenmesi ve kâşif arı üretimi)** Besin kaynağındaki nektarın kovana taşınıp taşınmadığı kontrol edilir. Besin kaynağı için sayaç YAKA'da bir kontrol parametresi olan limit değerlerinin üstünde ise, bu besin kaynağının tükenmesine işaret eder. Bu durum kâşif arının yeni kaynaklar araması gerektiğini ortaya çıkarır. Sadece bir kâşif arının aramaya gitmesine izin verilir (Karaboğa ve Akay, 2011).

### 6.3.3. Arıların besin araması süreci ile yapay arı kolonisi algoritmasının ilişkisi

Birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılan yapay arı kolonisi algoritması (YAKA) arıların sürü zekâsı ile besin arama süreçlerinden esinlenilerek yazılmıştır. Besin bulma sürecinden esinlenilerek oluşturulan arı koloni algoritması, arıların gerçek besin bulma davranışı ile Çizelge 6.2 kullanılarak şu şekilde tanımlanabilir.

**Çizelge 6.2.** Arıların besin bulma süreci ile YAKA arasındaki benzer ilişki

Arıların besin bulma süreci	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
Besin kaynaklarını içeren kovan çevresi	Tasarım uzayı
Seçilen besin kaynağı	Besin matrisinde bir çözüm vektörü
Nektar miktarı	Amaç fonksiyonu
Nektar kalitesi	Uygunluk değeri
Besin kaynağı ile bilgi	Besin matrisi
Arı kuyruk dansının özelliği	Olasılığa göre seleksiyon
Besin kaynağında tüm nektarın tüketilmesi durumunda	Çözüm geliştirmeme sayacına göre limit
Besin kaynağı arayan arıların tamamının görevlendirilmesi durumunda	Durdurma kriteri, iterasyon

## **7. KAZIKLI RADYE TEMELLERİN RANDOLPH YÖNTEMİYLE, OTURMA DAVRANIŞININ DİKKATE ALINARAK, TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ VE TEMEL BOYUTLARININ OPTİMUM TASARIMI**

### **7.1. Giriş**

Kazıklı radye temellerin tasarımı aşamasında belirlenmiş genel bir yöntem bulunmamaktadır. Günümüzde ampirik denklemlerden ve tasarımcının tecrübelerinden yola çıkarak kazıklı radye temel tasarımı yapılmaktadır. Bu nedenle parametrelerin ekonomik ve güvenilir tarafta kalacak şekilde doğru seçilmesi büyük önem arz etmektedir.

Esas kriterlerin kazık ve radye boyutlandırması olduğu düşünülürse, tasarım değişkenleri kazık çapı, kazık boyu, radyenin kalınlığı, genişliği ve uzunluğudur. Bu çalışmada, tasarım değişkenleri göz önüne alınarak Randolph metodu tabanlı bir hesap kodu yazılmıştır. Ayrıca bu koda uygun bir matematiksel problem modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model, gerçek boyutlu bir projenin verileri seçilerek tanımlanmıştır. Analiz programında veriler her bir durum için düzenlenmiştir ve analiz edilmiştir. Daha sonra yapılan analizler sonucuna göre bu değişkenlerin, maksimum oturmaya olan etkisi grafiksel olarak tanımlanmıştır. Tasarımda kullanılan değişkenler şu şekilde sıralanabilir.

- Kazık sayısı ve konfigürasyonu,
- Kazıklar arası mesafe,
- Radyeye gelen yükteki artış,

### **7.2. Randolph Yöntemi**

Kazıklı radyelerin oturma hesabı için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler üç ana başlıkta toplanabilir. Basitleştirilmiş yöntemler, yaklaşık yöntemler ve bilgisayar esaslı kesin yöntemlerdir (Birand, 2007). Tasarımcı mevcut veriler doğrultusunda uygun olan yöntemi seçerek, hesaplama işlemlerini gerçekleştirebilir. Parametrelerin de doğru olarak, anlamlı bir şekilde hesap yöntemine dahil edilmesi gerekir.

Kazıklı radye temellerin modelleme ve hesap işlemlerinde kullanılan parametrelerin, sistem üzerinde oluşturacağı etkinin de tasarımcı tarafından bilinmesi önemli bir konudur. Örneğin, birçok durumda kazık sayısı arttıkça temel davranışının iyileştiği düşünülebilir. Ancak böyle bir genelleme doğru olmayabilir. Çünkü, temel kazıkları sürekli bir ortamda bulunduğu için bir kazığın oturması, etki alanında bulunan



diğer kazıkların beklenenden daha fazla oturmasına neden olabilir. Buna kazık-zemin-kazık etkileşimi denmektedir. Bu nedenle kazık grubunun rijitliği, bir kazığın rijitliğinin toplam kazık sayısı ile çarpımından daha küçük olacaktır. Bu davranışın esas sebebi kazıklar arasındaki etkileşimdir. Kazık sayısının artması ile kazık grubunun rijitliğinin nasıl değiştiği Randolph yöntemi kullanılarak sayısal olarak bulunabilir (Alver, 2014). Bu gibi durumların nasıl bir değişikliğe neden olacağı, tasarımcı tarafından bilinmelidir. Kazıklı radye temellerin oturma miktarının tespit edilmesi için kullanılan yöntemlerden birisi de Randolph yöntemidir. Bu bölümde, Randolph yönteminin tanımlanmasının yanı sıra, kazıklı radye temel boyutlandırmasındaki bazı parametre değişimlerinin oturma miktarına olan etkisi Randolph yöntemi ile incelenecektir.

Randolph yöntemini tanımlamak gerekirse; bu yöntemde, kazık grubu ile radye temel arasındaki yük paylaşımı için basit bir denklem önerilmiştir. Radye temelin taşıdığı yükün kazık grubunun taşıdığı yüke oranı,  $P_{radye}/P_{grupkazık}$ , ile hesaplanabilir. Denklem 7.1'deki  $K$  rijitliği, radye ve kazık indisleri sırasıyla radyeyi ve kazık grubunu temsil etmektedir.

Önerilen denklem radyenin tamamen rijit olduğu kabulüne dayanmaktadır. Bu kabulün sonucu, kazık grubunun oturması ile radyenin oturmasının eşit olmasıdır. Gerçek davranışta ise radyenin esnekliği, kazıklara aktarılan yükün, bu denklem ile hesaplanandan daha fazla olmasını gerektirir (Randolph, 1978).

$$\frac{P_{radye}}{P_{grupkazık}} = \frac{0.2}{1-0.8(K_{radye}/K_{kazık})} \cdot \frac{K_{radye}}{K_{kazık}} \quad (7.1)$$

Randolph tekil bir kazığın rijitliğini kazığın elastik sıkışmasını da dikkate alan bir formül ile ifade etmiştir (Denklem 7.2) (Randolph, 2003).

$$\frac{P_{kazık}}{G_{kt} \cdot r_{kazık} \cdot S_{kazık}} = \frac{\frac{4\eta}{(1-\nu)\xi} + \rho \frac{2\pi \tanh \mu_1}{\xi} \frac{1}{\mu_1} \frac{1}{r_{kazık}}}{1 + \frac{1}{\pi \lambda (1-\nu) \xi} \frac{4\eta}{\mu_1} \frac{1}{r_{kazık}}} \quad (7.2)$$

Burada  $P_{kazık}$  ve  $S_{kazık}$  sırasıyla kazığa gelen yük ve kazığın oturmasıdır.  $L_{kazık}$  ve  $r_{kazık}$  kazığın uzunluğu ve yarıçapıdır.  $G_{kt}$  kazık ucundaki zeminin kayma modülüdür. Diğer parametreler aşağıda verilmiştir (Denklem 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8 ve 7.9).

$$\eta = \frac{r_b}{r_{kazık}} \quad (7.3)$$

$$\xi = \frac{G_{kt}}{G_b} \quad (7.4)$$

$$\rho = \frac{G_{avg}}{G_{kt}} \quad (7.5)$$

$$\lambda = \frac{E_{kazık}}{G_{kt}} \quad (7.6)$$

$$\xi = \ln\left(\frac{r_m}{r_{kazık}}\right) \quad (7.7)$$

$$r_m = \{0,25 + \xi[2,5\rho(1 - \nu) - 0,25]\}L_{kazık} \quad (7.8)$$

$$\mu_1 = \left(\frac{1}{r_{kazık}}\right)\left(\frac{2}{(\xi\lambda)^{1/2}}\right) \quad (7.9)$$

Burada  $G_{avg}$  zeminin ortalama kayma modülünü,  $E_{kazık}$  kazığın yapıldığı malzemenin elastisite modülünü,  $r_b$  kazık tabanının yarıçapını ve  $\nu$  Poisson oranını göstermektedir.

Bir kazık grubunun rijitliği, kazıklar arasındaki etkileşim nedeniyle, bir kazığın rijitliğinin toplam kazık sayısı ile çarpımına eşit olmaz. Kazık grubunun rijitlik hesabı için bir faktör uygulanmalıdır. Bu faktör verimlilik katsayısı olarak adlandırılır. Verimlilik katsayısı,  $\eta$  Denklem 7.10 ile şu şekilde hesaplanabilir.

$$\eta = 1 / \sum_{i,j=1}^n \alpha_{ij} \quad (7.10)$$

Verimlilik katsayısı kullanılarak kazık grubunun rijitliği Denklem 7.11 ile hesaplanabilir.

$$K_{kazık} = n_{kazık} \cdot K_{tk} \cdot \eta \quad (7.11)$$

Burada  $n$  kazık sayısını,  $K_{tk}$  bir kazığın rijitliğini ve  $K_{kazık}$  kazık grubunun rijitliğini gösterir. Her bir kazığın diğer kazıklar üzerindeki etkisi Randolph yöntemine göre Denklem 7.12 ile şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\alpha_{ij} = \frac{\ln\left(\frac{r_m}{S_{x-y}}\right)}{\ln\left(\frac{2r_m}{D_{kazık}}\right)} F_\alpha \quad (7.12)$$

Burada  $D_{kazık}$  kazık çapını ve  $S_{x-y}$  kazıklar arasındaki mesafeyi gösterir. Burada  $r_m$  etki yarıçapıdır ve Denklem 7.13 ile hesaplanır.

$$r_m = \{0,25 + \xi[2,5\rho(1 - \nu) - 0,25]\}L_{kazık} \quad (7.13)$$

Kazıklar arasındaki etkileşim  $\alpha$  katsayısı ile ifade edilir.  $F_\alpha$  faktörü kazıkların zemini iyileştirici etkisini göz önüne almak amacıyla geliştirilmiştir (Denklem 7.14, 15, 16, 17, 18).

$$F_{\alpha} = \frac{2\mu L_{kazik} + \sin(2\mu L_{kazik}) + \Omega^2 [\sinh(2\mu L_{kazik}) - 2\mu L_{kazik}] + 2\Omega [\cosh(2\mu L_{kazik}) - 1]}{[2 + 2\Omega^2] \sinh(2\mu L_{kazik}) + 4\Omega \cosh(2\mu L_{kazik})} \quad (7.14)$$

Burada  $L_{kazik}$  kazık boyunu gösterir.

$$\mu = \sqrt{\frac{2\pi G_{avg}}{\ln\left(\frac{2r_m}{D_{kazik}}\right) \cdot E_{kazik} \cdot A_{kazik}}} \quad (7.15)$$

Burada  $E_{kazik}$  kazığın yapıldığı malzemenin elastisite modülünü,  $A_{kazik}$  kazığın en kesit alanını,  $G_{avg}$  zeminin ortalama kayma modülünü temsil etmektedir.

$$\Omega = \frac{K_{bi}}{E_{kazik} \cdot A_{kazik} \cdot \mu} \quad (7.16)$$

Burada  $K_{bi}$  kazığın taban rijitliğini temsil etmektedir.

$$K_{bi} = \frac{\pi}{2I_s} \left( \frac{D_{kazik} \cdot G_{avg}}{1-\nu} \right) \quad (7.17)$$

Burada  $I_s$  kazık tabanının en kesitine bağlı olan şekil faktörüdür. Bir kazığın doğrusal olmayan davranışı, temel sisteminin bir bütün olarak davranışını etkilemektedir. Doğrusal olmayan hesaba katılmaz ise, etkileşim faktörü,  $i=j$  durumunda 1'e eşit olmaktadır. Doğrusal olmayan davranış Caputo ve Viggiani yaklaşımıyla şu şekilde tanımlanabilir (Caputo ve Viggiani, 1984). Burada  $Q_{i,limit}$ , i. tekil kazığın taşıma kapasitesidir.

$$\alpha_{ii} = \frac{1}{1 - \frac{Q_i}{Q_{i,limit}}} \quad (7.18)$$

Burada  $Q_{i,limit}$ , i. tekil kazığın taşıma kapasitesidir ve oturma analizleri zeminin tek yönde sıkıştığı kabulü ile yapılmaktadır.

Ancak sürekli ortamda üç boyutta deformasyonlar oluşacağı için bulunan oturma ( $S_{oturma}$ ) değerine Denklem 7.19 ve 7.20 kullanılarak düzeltme faktörü  $U_i$  uygulanmaktadır.

$$U_i = \frac{\mu_1 \mu_0 \cdot Q_{yayılı} \cdot B_{radye}}{E_{zemin}} \quad (7.19)$$

$$S_{oturma} = U_i \cdot \mu_g \cdot \mu_d \quad (7.20)$$

$\mu_1$  ve  $\mu_0$  etki faktörleridir.  $Q_{yayılı}$ ,  $B_{radye}$  ve  $E_{zemin}$  sırasıyla yayılı yük, radye genişliği ve zeminin elastisite modülüdür.  $\mu_g$  ve  $\mu_d$  sırasıyla üçüncü boyut düzeltmesi ve derinlik düzeltmesidir. Bu düzeltmeler abaklardan alınabilir (Tomlinson, 2008).

### 7.3. Kazıklı Radye Temellerin Oturma Esaslı Tasarımında, Etki Eden Bazı Parametrelerin Randolph Hesap Yöntemi ile İncelenmesi

Bu bölümde, kazıklı radye temelin oturma esaslı tasarımına yönelik, Randolph hesap yöntemi kullanılarak, analizler yapılmıştır. Bilindiği üzere, oturma hesabı zeminin elastik özellikleri ile ilgilidir. Bu parametreler zeminin Elastisite modülü  $E_{zemin}$ , Kayma modülü ( $G$ ) ve Poisson oranıdır ( $\nu$ ).

Bu bölümde, kullanılan Randolph hesap kodunda, birçok parametre yer almaktadır. Bu parametreler; kazıklar arası mesafe, kazık sayısı, kazık uzunluğu ve çapı, radyenin eni, boyu ve kalınlığı, zemin kayma modülü ve Poisson oranı ile radyeye gelen üniform gerilme ve kazık taşıma kapasitesi değeridir. Bu değerler seçilirken daha önce yapımı tamamlanmış gerçek boyutlu bir kazıklı radye temel projesinin verileri kullanılmıştır.

Kullanılan veriler doğrultusunda, kazıklı radye temel tasarımında, kazıklar arası mesafenin, radyeye gelen üniform gerilme, kazık sayısı ve yerleşiminin değişimi durumunda, oturma miktarlarına olan etkisi analizlerle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak yorumlanmıştır. Yazılan kod içerisinde, parametreler şu şekilde tanımlanmıştır; kazık sayısı ( $n_{kazık}$ ), kazık çapı ( $D_{kazık}$ ), uzunluğu ( $L_{kazık}$ ), radye kalınlığı ( $t_{radye}$ ), radye genişliği ( $B_{radye}$ ), radye uzunluğu ( $L_{radye}$ ), zemin kayma modülü ( $G$ ), kazıklar arası mesafe ( $S_x-S_y$ ), radyeye gelen üniform gerilme ( $Q_{limit}$ ), kazık taban çapıdır. Tasarım değişkenlerinin artım veya azalımın da toplam maksimum oturma ( $S_{max}$ ) değişimi analiz edilerek, grafikleri çizilmiştir.

Problemin esas amacı, her bir kazığın rijitliğini, kazıklar arasındaki etkileşimi göz önüne alarak hesaplamaktır. Radyenin tamamen elastik olduğu kabulü yapılmıştır. Bu kabul ile üst yapı yükü kazıklar arasında eşit olarak paylaşılabilir. Gerçek boyutlu bir kazıklı radye temel projesinin verileri kullanılarak, matematiksel bir problem tanımlanmış ve Randolph yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Problemin esas matematiksel modeli sabit tutularak, ilgili tasarım değişkenleri belirli değer aralıklarında değiştirilmiş ve toplam maksimum oturma değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek grafiksel olarak tanımlanmıştır. Bu analizlerde ki temel amacın, kazıklı radye temel boyutlandırmasında kullanılan kazıklar arası mesafe, kazık sayısı ve yerleşimi ile radyeye gelen yük değerinin, oturma davranışına etkisinin gösterilmesi olduğu söylenebilir.

#### 7.4. Analizlerde Kullanılan Kazıklı Radye Temel Hesap Modeli

Randolph hesap yöntemi temel alınarak yazılan ve düzenlenen analiz kodunda, belirlenen tasarım değişkenleri aralığında analizler yapılmıştır. Etki eden parametreler, gerçek boyutlu yapıyı tamamlanan ve 8. Bölümde optimum boyutları ve hacim değerleri incelenen ikinci projenin parametrelerinden alınmıştır. Hesaplama kodunda analizlere dahil edilen hesap girdileri ve alınan değerler Çizelge 7.1’de şu şekilde tanımlanabilir.

**Çizelge 7.1.** Kazıklı radye temel hesap modelinin parametreleri

Parametreler	Değer
Tekil kazığın taşıma kapasitesi	4270 kN
Radyenin kalınlığı ( $t_{\text{radye}}$ )	2.5m
Kazık sayısı ( $n_{\text{kazık}}$ )	234
Radyeye gelen üniform gerilme, ( $Q_{\text{limit}}$ )	376 kPa
Zeminin Poisson oranı ( $\nu$ )	0.2
Kazıklar arası mesafe	2 m
Kazık uzunluğu ( $L_{\text{kazık}}$ )	32 m
Kazık çapı ( $D_{\text{kazık}}$ )	0.8m
Kazık taban çapı	0.8m

Çizelge 7.1’deki veriler esas alınarak, yazılan hesap analiz kodunda sisteme dahil edilmiş ve toplam maksimum oturma değerleri hesaplanmıştır. Analizlerde ilk olarak radyeye gelen üniform gerilmenin değiştirilmesi durumunda, oturma miktarının nasıl değiştiği incelenmiştir. İkinci aşamada radye boyutları dikkate alınmaksızın, kazıklar arası mesafe değiştirilmiş ve oturma miktarı araştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise, kazıklar arası mesafe sabit tutularak kazık sayısı değiştirilmiş ve oturma miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların grafikleri çizilerek, parametrelerin değiştirilmesi durumunda oturma miktarına olan etkisi yorumlanmıştır.

#### 7.5. Kullanılan Kazıklı Radye Temel Modelinin Tasarım Değişkenleri

Çalışmanın bu bölümünde, seçilen parametreler belirlenen aralıklarda değiştirilerek oturma miktarındaki artış veya azalışlar incelenmiştir ve Çizelge 7.2’de sunulmuştur. Burada ki temel amaç, seçilen tasarım değişkenlerinin oturma miktarına olan etkisinin gösterilmesidir. Seçilen tasarım değişkenleri ise şu şekilde sıralanabilir:

- Kazıklar arası mesafe değişimi
- Radyeye gelen üniform gerilme miktarının değişimi
- Kazık sayısı ve yerleşiminin değişimi

**Çizelge 7.2.** Tasarım değişkenleri ve atanan değerler

Tasarım Değişkenleri	Değerler
Kazıklar arası mesafe (m)	1.6, 1.8, 2, 2.2
Radeye gelen üniform gerilme (kPa)	250, 300, 376, 400, 450
Kazık sayısı, $n_{kazık}$	150, 176, 204, 234
Kazık yerleşim düzeni	10×15, 11×16, 12×17, 13×18

Bu değerlerin seçiminde literatürde yer alan çalışmaların etkisi vardır. Yapılan bu çalışmalara bir örnek vermek gerekirse; Mohamedien vd., (2013) yaptıkları çalışmada, radye temel boyutlarını 10×10, 15×15, 20×20, radye kalınlığını 0.8, 1.0, 1.2, 1.5m, kazık uzunluğunu 8, 16, 24 m, kazık çapını 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 m ve kazıklar arası mesafeyi 2, 3, 4 m olarak seçmiş ve analizler yapmıştır ve oturma miktarındaki değişimi nümerik çalışmalarla incelemiştir (Mohamedien, 2013). Ayrıca Randolph yöntemi ile oturma miktarı değişimini kazık sayısı ve kazık uzunluğunu dikkate alarak inceleyen Alver vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada; kazık uzunluğu 54, 45, 36, 25, 20 m, kazık sayısı ise 24, 30, 36, 45, 55, 65, 75, 90 olarak seçilmiştir.

### 7.5.1. Kazıklar arası mesafe değişiminin oturma davranışına etkisi

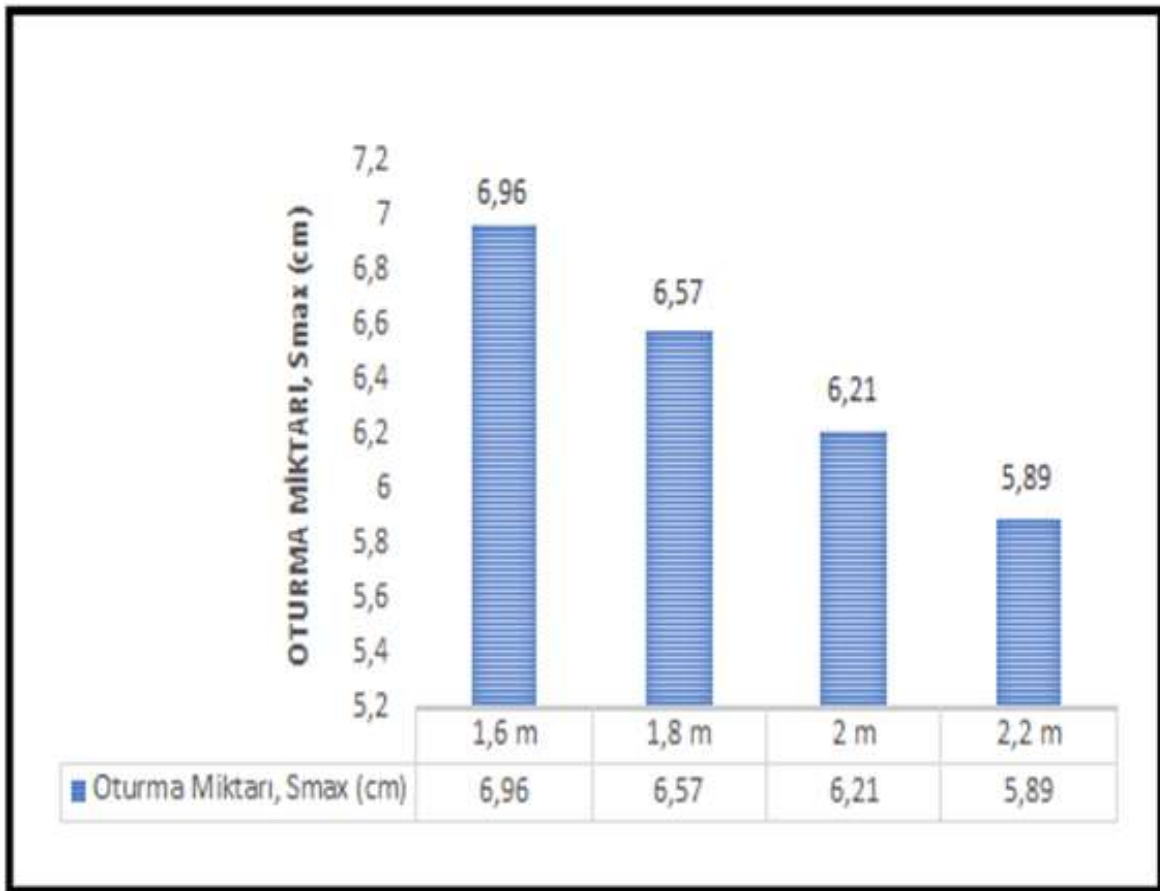
Bilindiği üzere, tek kazığın oturma davranışı ile kazık grubunun yük oturma davranışı farklılık göstermektedir. Kazık grubunun taşıma kapasitesi belirlenirken, tekil kazığın taşıma kapasitesinin bilinmesi gerekir. Aynı zamanda kazık-zemin-kazık etkileşiminden dolayı kazıklar arası mesafe önemli bir unsurdur. Kazık yerleşiminde kazık sayısında ki artış, taşınan yük kapasitesinin artarken, oturmanın azalmasını sağlamaktadır. Ancak belli bir limit değerinden sonra kazık-kazık etkileşiminden kaynaklı, kazıkların taşıma kapasitesi azalmakta ve oluşan oturmalar artmaktadır (Birand, 2007). Kazıklar arası mesafenin oturma davranışına etkisi birçok çalışmada araştırma konusu olmuştur. Yazıcı (2013) yaptığı çalışmada, kazıklar arası mesafenin  $3D_{kazık}$ 'dan az olması durumunda, oturmaların daha yüksek olmasına rağmen, kazıklı radye temelin taşıma gücünün, sadece kazıkların taşıdığı yükten daha az olduğunu gözlemlemiştir.

Dolayısı ile bu bilgiler ışığında, yazılan kod yardımı ile kazıklar arası yerleşime bağlı olarak oluşan oturma miktarı irdelenmiştir. Kazıklar arası mesafe modellemeye göre de farklılık göstereceği için yapılan analiz sonucu genel bir ifade içermektedir. Çizelge 7.3'de değişen kazıklar arası mesafelerin analizi sonucunda elde edilen toplam maksimum oturma değerleri yer almaktadır. Şekil 7.1 incelendiği takdirde kazıklar arası mesafe arttıkça kazık-zemin-kazık etkileşimi azalmakta ve dolayısı ile oluşan maksimum

oturma miktarı da bununla birlikte azalmaktadır. Kazıklar arası mesafe, 1.6, 1.8, 2, 2.2m aralığında değişmektedir.

**Çizelge 7.3.** Kazıklar arası mesafeye bağlı  $S_{max}$  değişimi

Kazıklar arası mesafe $S_x-S_y$	Maksimum oturma $S_{max}$ (cm)
1.6	6.96
1.8	6.57
2.0	6.21
2.2	5.89



**Şekil 7.1.** Kazıklar arası mesafe değişiminin toplam oturma davranışına etkisi

Zemin parametreleri ve yapı özellikleri kod üzerine işlenerek analizler yapılmış ve her farklı kazıklar arası mesafede oturma değerleri hesaplanmıştır. Diğer yapı ve zemin parametreleri sabitken; kazıklar arası mesafenin 1.6m seçilmesi durumunda oturma miktarı 6.96cm, 1.8m seçilmesi durumunda 6.57cm, 2m seçilmesi durumunda oturma miktarı 6.21cm ve 2.2m seçildiği ve analiz edildiği takdirde oturma miktarı 5.89cm olarak bulunmuştur. Kazıklar arası mesafenin %37,5'lik artırılması durumunda, oturma miktarında %16'lık bir azalım gözlemlenmiştir.

Çizelge 7.3'e göre kazıklar arası mesafe arttıkça kazık-kazık etkileşimi azaldığı için, oturma miktarları da bu doğrultuda azalmıştır.

### 7.5.2. Radyeye gelen gerilme değişiminin oturma davranışına etkisi

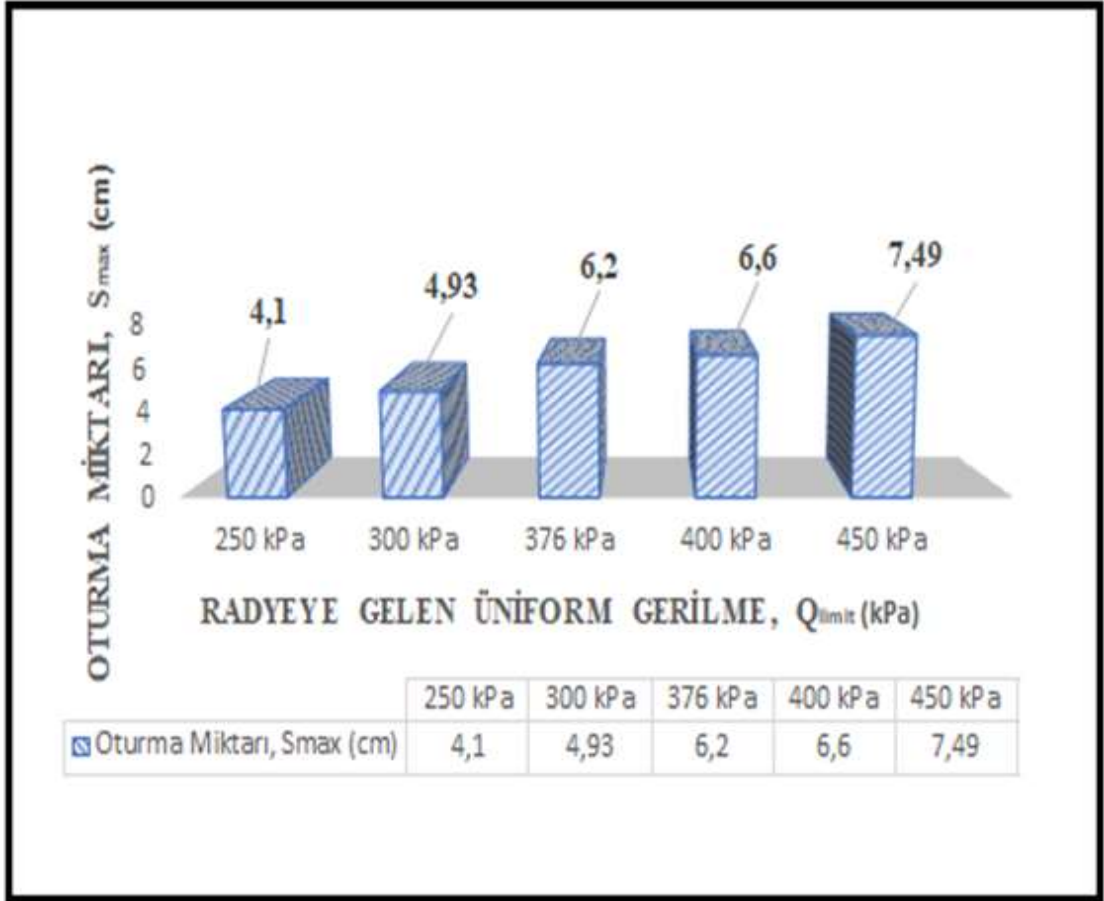
Tasarlanan yapı projelerinde, taşıma kapasitesinden dolayı değil, oturma miktarlarının kabul edilebilir sınır değerlerini aşmalarından dolayı radye temelin altında oturmayı azaltıcı kazıklar kullanılmaktadır. Bu temel tasarımı zamanla “Kazıklı Radye Temel” ismini almıştır. Kazıklı radye temel tasarımında etki eden yük, radye ve kazık grubu arasında paylaşılarak zemine aktarılır. Dolayısı ile radye temel, yük paylaşım oranına göre taşıyıcı bir yapı elemanıdır. Bu durum radye üzerine gelen üniform gerilme miktarının, oturma miktarında belirleyici kriterlerden biri olduğunu göstermektedir (Birand, 2007).

Temel yapısına gelen yük arttıkça, su içeriğinin artması ve bina yükü nedeni ile zeminin sıkışma miktarı, konsolidasyon oturması miktarı ve önemli miktarda boşluk suyu basıncı artmaktadır (Ünal, 2020). Radyeye etki eden yükün artması durumunda, oluşan oturma miktarının belirlenmesi için, radyeye gelen yük arttırılmış ve oluşan maksimum oturma değeri  $S_{max}$  incelenmiş, sonuçlar Çizelge 7.4'te ve grafiksel olarak Şeki 7.2'de sunulmuştur.

**Çizelge 7.4.** Radyeye gelen üniform gerilmeye bağlı  $S_{max}$  değişimi

Radyeye gelen üniform gerilme $Q_{limit}$	Maksimum oturma $S_{max}$ (cm)
250	4.10
300	4.93
376	6.20
400	6.60
450	7.49





Şekil 7.2. Radyeye gelen üniform gerilmenin değişmesi durumunda, oluşan oturma miktarı grafiği

Kazıklı radye temellerde, radyeye gelen yükün artması ile kazığa iletilen yükte de artış olur. Bunun sonucu olarak, kazığın yük altındaki davranışı yük-oturma eğrisi ile belirlenir (Birand, 2007). Şekil 7.2 ve Çizelge 7.4 incelendiği takdirde, radyeye gelen yük 250 kPa ile 450 kPa arasında değişmektedir. Bunun sonucunda Randolph hesap kodu ile analizler yapıldığında, Çizelge 7.4'e göre 250 kPa olması durumunda oturma miktarı 4.10cm, 300 kPa olması durumunda oturma miktarı 4.93cm, 376 kPa olması durumunda oturma miktarı 6.21cm, 400 kPa olması durumunda oturma miktarı 6.60cm, 450 kPa olması durumunda oturma miktarı 7.49cm olarak hesaplanmıştır. Buna göre radyeye gelen üniform gerilme miktarındaki %80'lik artış, oturma miktarını yaklaşık olarak %82 arttırmıştır.

### 7.5.3. Kazık sayısındaki değişimin oturma davranışına etkisi

Kazıklı radye temellerde uygun kazık sayısının seçimi önemli bir konudur. Bu noktada birçok araştırmacı farklı çalışmalarla, optimum kazık sayısının bulunması ve kazık sayısının doğru belirlenmesi için birçok çalışma yapmıştır. Örneğin, Deshpande ve Thakare (2017) yaptıkları çalışmada, kazıklı radye temellerde, kazık sayısındaki artışın etkisini incelemişlerdir. Kazık sayısındaki artış, taşıma kapasitesinde artışa neden olurken, oturma miktarında da azalma olduğunu belirtmişlerdir.

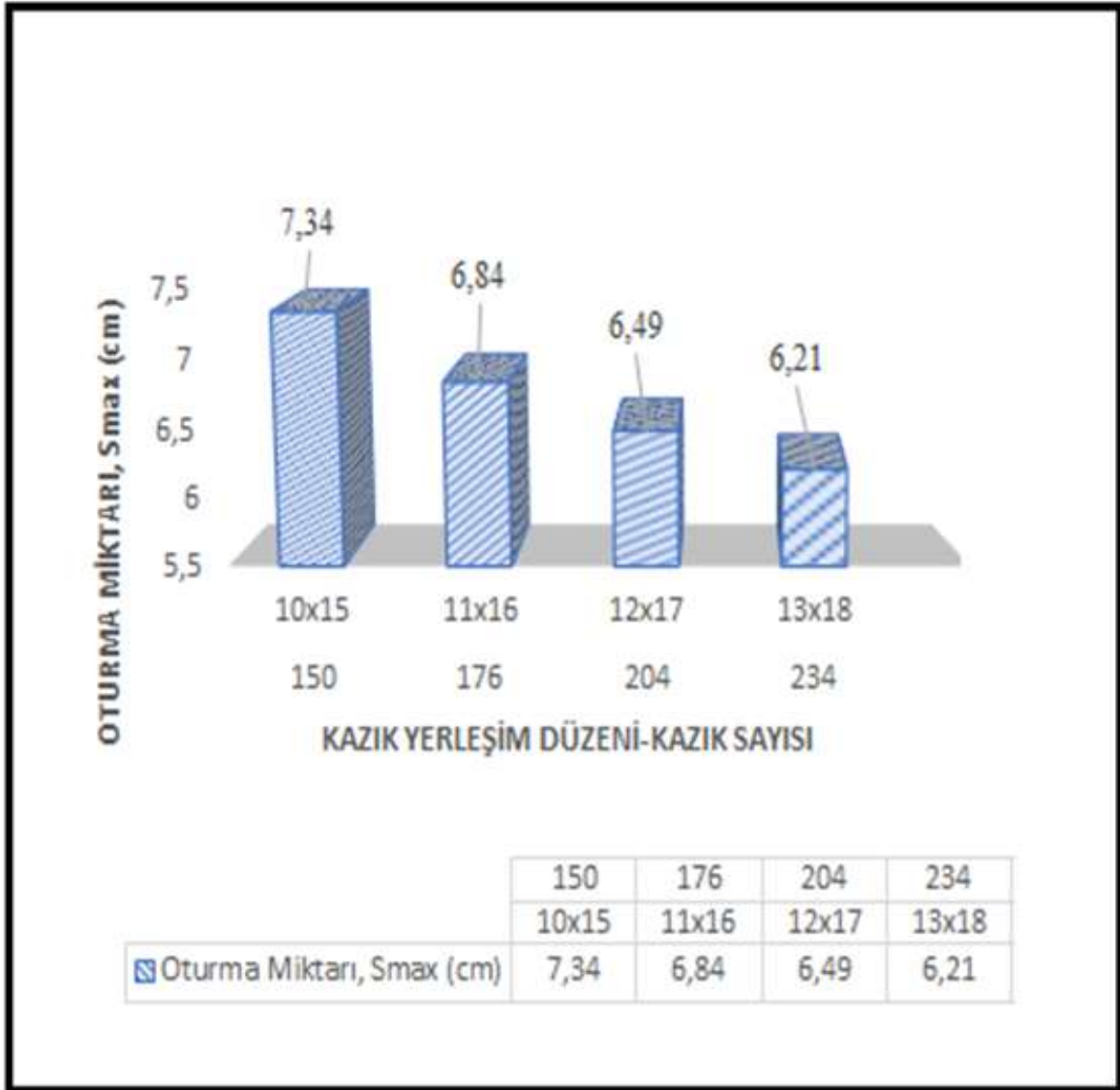
Alver ve Özden (2014) yaptıkları çalışmada kazıklı radye temellerin oturma davranışını birçok parametreyi değiştirerek incelemişlerdir. Buna göre kazık sayısının 24-90 aralığında farklı yerleşim düzeninde seçilmesi durumunda oturma miktarının kazık sayısının artırılması ile yaklaşık olarak %78 azaldığı tespit edilmiştir.

Benzer çalışmalar bulunmasının yanı sıra, kazık sayısı artırılırken, dikkat edilmesi gereken temel nokta ise, kazıklar arası grup etkisinden dolayı, kazık sayısının artırılması belirli bir noktadan sonra oturmalarda azalmaya neden olmamaktadır ve bunun nedeni “kazık-zemin-kazık” etkileşimidir (Birand, 2007). Bu noktadaki kazık sayısı, optimum kazık sayısını ifade etmektedir. Kazık sayısı arttıkça, kazıklar arası mesafe azalmakta ve kazıklar arası etki artmaktadır. Kazıklar arası etki arttıkça, kazık sayısının artırılması olumlu olmayan sonuçlara yol açmaktadır (Birand, 2007). Bu nedenle uygun ve optimum kazık sayısının belirlenmesi projelendirme aşamasında önemli bir noktadır.

Kazık sayısının ve yerleşiminin, oturma miktarına olan etkisi araştırılmıştır. Randolph hesap kodunda, kazık sayısı değişiminin ve yerleşiminin, oturma miktarına olan etkisi Çizelge 7.5’ te sunulmuştur.

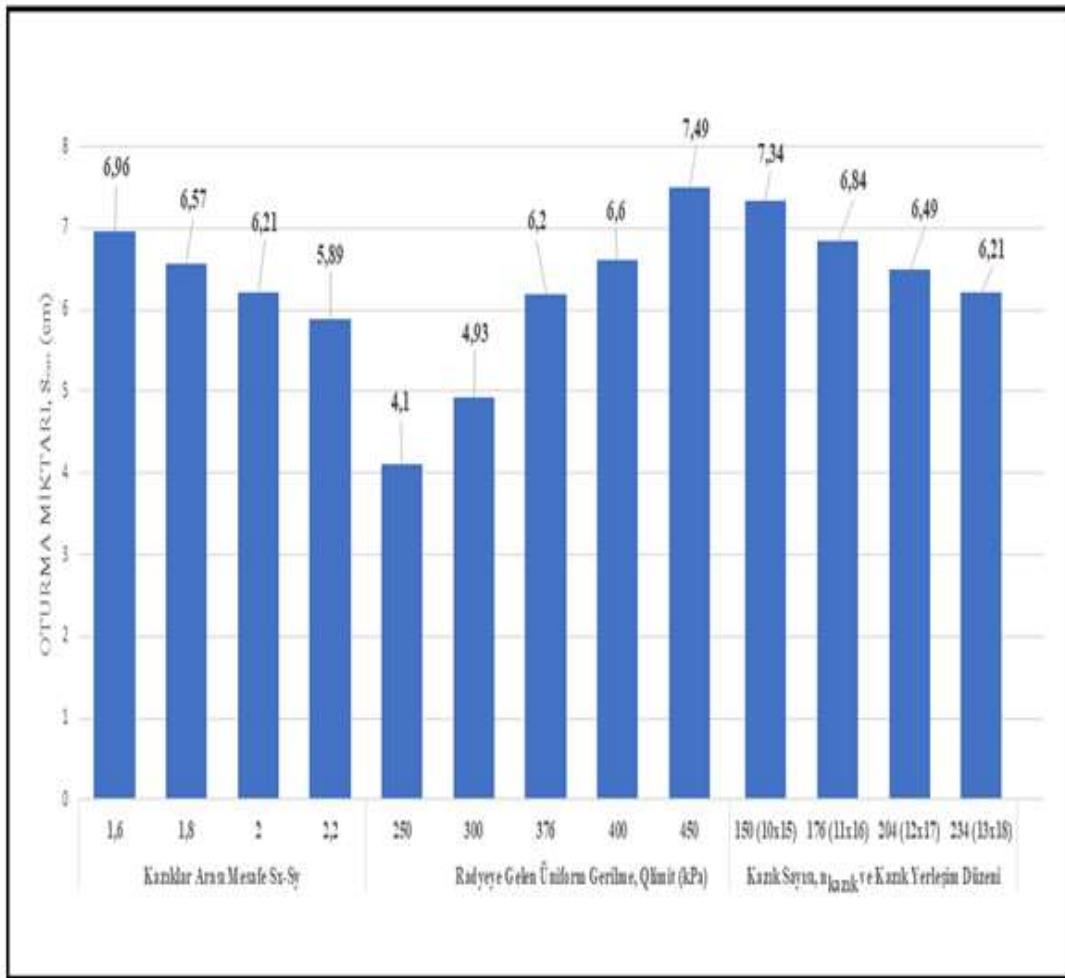
**Çizelge 7.5.** Kazık sayısı değişimine bağlı,  $S_{max}$  değişimi

Kazık sayısı	Kazık yerleşim düzeni	Maksimum oturma $S_{max}$ (cm)
150	10x15	7.34
176	11x16	6.84
204	12x17	6.49
234	13x18	6.21



Şekil 7.3. Kazık sayısı değişiminin oturma miktarına etkisi

Analizlerde kazık sayısı değiştirilirken, kazıklar arası mesafe sabit tutulmuş ve  $2.5D_{kazık}$  yani 2m olarak kullanılmıştır. Diğer bir ifade ile kazık sayısındaki değişime rağmen, modelleme aşamasında kazıklar arası mesafe bütün kazık konfigürasyonlarında  $2.5D_{kazık}$  olarak seçilmiştir. Çizelge 7.5 ve Şekil 7.3'e göre kazık sayısının  $n_{kazık}=150$  seçilmesi durumunda oturma miktarı 7.34cm,  $n_{kazık}=176$  seçilmesi durumunda oturma miktarı 6.84cm,  $n_{kazık}=204$  seçilmesi durumunda oturma miktarı 6.49cm,  $n_{kazık}=234$  seçilmesi durumunda oturma miktarı 6.21cm olarak hesaplanmıştır. Kazık sayısı arttıkça, oturma miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.4. Oturma miktarının değişiminin genel gösterimi

Şekil 7.4'te elde edilen Randolph hesap modeli analiz sonuçları özetlenmiştir. Analizlerde araştırılan parametreler değiştirilirken, diğer parametreler sabit tutulmuş ve gerçekteki değerleri kullanılmıştır. Açıklamak gerekirse, örneğin; kazık sayısı değişimi araştırılıyorsa, kazıklar arası mesafe, yapı, zemin ve temel özellikleri sabit tutulmuş, sadece etkisi araştırılan kazık sayısı ve yerleşim düzeni, radye boyutlarına dikkat edilmeksizin, değiştirilmiştir. Analizler sonucunda, kazıklar arası mesafe sabitken kazık sayısı arttıkça oturma miktarında azalım gözlemlenmiştir. Fakat kazık sayısının artırılması noktasında, radye içerisine yerleşim düzenleri modellenen kazıklı radye temel sisteminin, kazık-zemin-kazık etkileşimine bağlı oluşan grup etkisi ve yapı ekonomisi gibi konulara da dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kazıklı radye temel modellemesinde hem güvenliği sağlayan, hemde ekonomik çözümler sunan optimum kazık sayısının tespit edilmesi önemli bir husustur. Ayrıca kazıklar arası mesafenin artması ile kazıklar arası etkileşim azaldığı için, oturma miktarının azaldığı, radyeye gelen üniform gerilmenin artması ile oturma miktarının arttığı tespit edilmiştir.

## **8. KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMLERİNİN METASEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE OPTİMİZASYONU, OPTİMUM DEĞERLERİNİ BULMAK İÇİN SEÇİLEN ÖRNEK PROJELER VE GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLER**

### **8.1. Kazıklı Radye Temellerin Optimum Tasarımı ve Algoritmaları**

Yüksek katlı, yüksek maliyetli veya güvenlik bakımından risk oluşturabilecek durumlarda, kazıklı radye temellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum ekonomiklik ve zaman gibi birçok açıdan minimizasyona gitmeyi gerektirmektedir.

Yönetmelikler doğrultusunda, güvenlikten ve tasarım kriterlerinden ödün vermeden, olabildiğince ekonomik çözümler araştırılmalı ve en son aşamaya kadar uygulanabilir olmalıdır. Bu noktada, kod tabanlı, algoritma esaslı, çalışan programlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kazıklı radye temellerin formülasyonları metasezgisel algoritma kodlarında tanımlanarak, ekonomik boyutlandırma açısından en ideal çözüm araştırılmaktadır.

Radye temelin güvenliği sağlayamadığı durumlarda, kazıkların sisteme ilavesi zorunluluk arz etmektedir. Fakat bu durum, zaman, işçi maliyeti, malzeme maliyeti gibi konular düşünüldüğünde yüksek maliyetler ortaya çıkarabilmektedir. Bu amaçla doğadan ilham alınarak geliştirilen algoritmalar kullanılmaktadır.

Bu algoritmalar bilim insanları tarafından gün geçtikçe geliştirilmekte ve birbirleriyle uyumlu sonuçlar verip vermediği irdelenmektedir. Bu tez çalışmasında da bu hususlar dikkate alınarak kazıklı radye temele ait bir formülasyon cetveli oluşturarak, algoritmalara uyarlanmaya çalışılmaktadır. Amaç topluma ve sektöre daha ekonomik, çevreye daha duyarlı bir takım tasarım önerilerinde bulunmaktır. Ayrıca, zamandan, maliyetten, insan gücünden, doğaya zarar vermekten ekonomik çözümlerle kaçınmaktır. Bu doğrultuda kullanılması planlanan algoritmalar, seçilen amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonları şu şekilde tanımlanmıştır.

### **8.2. Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması**

Denklem 8.1'de tanımlanan amaç fonksiyonu, kazıklı radye temelin beton hacmini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Burada tanımlanan fonksiyonun parametreleri şu şekilde tanımlanabilir:

$$\text{Minimize } V(x) = \sum_{k=1}^{n_{kazik}} \frac{\pi \cdot D_{kazik}^2 \cdot L_{kazik}}{4} + B_{radye} \cdot L_{radye} \cdot t_{radye} \quad (8.1)$$

Burada;

$V(x)$ : Beton hacmi

$D_{kazik}$ : Kazık çapı

$L_{kazik}$ : Kazık boyu

$n_{kazik}$ : Kazık sayısı

$B_{radye}$ : Radyenin genişliği

$L_{radye}$ : Radyenin uzunluğu

$t_{radye}$ : Radyenin kalınlığı

### 8.3. Tasarım Değişkenlerinin Tanımlanması

Denklem 8.1'de tanımlanan fonksiyondaki temel amaç, kullanılacak beton hacminin minimize edilmesidir. Fonksiyon, kazıklı radye temelin ana parametrelerini içerisinde barındırmaktadır.

Bu parametreler ise, kazık özellikleri ve radye temel özellikleridir. Minimum hacim değerini araştıran fonksiyonun, tasarım değişkenleri,  $x(1)=D_{kazik}$ ,  $x(2)=L_{kazik}$  ve  $x(3)=t_{radye}$  olarak belirlenmiştir. Yani  $x(1)$ , kazık çapını,  $x(2)$ , kazık boyunu ve  $x(3)$ , radye temelin kalınlığını temsil etmektedir. Radyenin genişliği ve uzunluğu ile kazık sayısı değiştirilerek, analizler sonucunda  $x(1)$ ,  $x(2)$  ve  $x(3)$  değerleri elde edilmiştir. Elde edilen tasarım değişkenleri ile amaç fonksiyonunda yer alan beton hacmi bulunmuştur ve bu sayede farklı koşullarda minimize edilen kazıklı radye temel boyutları optimum olarak boyutlanmıştır.

Optimizasyon analizlerinde, üç farklı gerçek boyutlu proje verileri kullanılmıştır. Algoritma analizleri sonrasında elde edilen optimum boyutlar ile, uygulama projesine ait olan boyutlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca metasezgisel algoritmaların kullanılması durumunda kazıklı radye temel boyutlandırmasına olan optimizasyon etkileri yorumlanmıştır.

Sınırlayıcı fonksiyonlarında kullanılan geoteknik parametre değerleri analizler öncesinde uygulanmış olan üç proje için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Kullanılan parametrik değerler projelerin zemin etüt raporlarından ve modelleme verilerinden alınmıştır.

### 8.3.1. Tasarım Değişkenlerinin Alt ve Üst Sınırları

Bu tez çalışmasında, kullanılan tasarım değişkenlerinin belirlenmesinde, daha önceden yapılan çaklışmalar ve günümüzde kullanımı yaygın olan tasarım boyutları seçilmeye çalışılmıştır. Bu konuda farklı algoritmalarla yapılan çalışmalardan olan, Yazdani (2013) yaptığı çalışmada kazıklı radye temellerin optimum boyutlarını karınca koloni algoritması (ACO) ile incelemiştir ve tasarım değişkenlerinin boyutlarını kazık çapı için, 0.8-1.2m aralığında, kazık uzunluğunu 20-40m ve radye kalınlığını ise 1-1.4m aralığında seçmiştir. Yazıcı (2013) hazırladığı tez çalışmasında kazıklı radye temellerin modellemesini 2 ve 3 boyutlu araştırmıştır ve kazık çapını 0.6m, kazık uzunluğunu 18m olarak belirlemiştir. Temür ve Öser (2019) üç farklı algoritma ile kazıklı radye temel maliyet optimizasyonunu araştırmıştır ve kazık çapını 0.45m ile kazık uzunluğunu 27m olarak seçmiştir. Mohamedien vd., (2013) yaptıkları çalışmalarda tasarım değişkenlerinin değer aralıklarını şu şekilde belirlemiştir. Radye temel boyutlarını 10x10, 15x15, 20x20, radye kalınlığını 0.8, 1.0, 1.2, 1.5m, radye temele gelen yükleri sırasıyla, 120, 180, 240 kN/m<sup>2</sup>, kazık uzunluğunu 8, 16, 24 m, kazık çapını 0.4, 0.5, 0.6, 0.8m ve kazıklar arası mesafeyi 2, 3, 4 m olarak seçmiş ve analizler yapmıştır.

Bu tez çalışmasında ise, optimizasyon analizlerinde seçilen tasarım değişkenleri; kazık çapı, kazık uzunluğu ve radye temel kalınlığı için, literatür ile uyumlu, günümüzde kullanılan gerçek boyutlu değerler de göz önünde bulundurularak, alt ve üst sınır değerleri şu şekilde tanımlanmıştır.

$$\bullet \quad 0.6\text{m} < D_{\text{kazık}} < 1.2\text{m} \quad (8.2)$$

$$\bullet \quad 10\text{m} < L_{\text{kazık}} < 40\text{m} \quad (8.3)$$

$$\bullet \quad 1.2\text{m} < t_{\text{radye}} < 3\text{m} \quad (8.4)$$

Optimizasyon analizlerinde; çap, boy ve radye kalınlığı değerlerinin, değişim miktarları ise, kazık çapı için; 0.1m değişimle, kazık uzunluğu için; 0.5m ve radye kalınlığı için 0.1m değişim miktarı ile gerçekleştirilmiştir.

### 8.4. Sınırlayıcıların Tanımlanması

Genel anlamda mühendislik problemlerinde sınırlayıcılar, lineer ve nonlinear olarak iki gruba ayrılır. Fakat mühendislik problemleri, genel yapısı gereği nonlinear çalışma esasına dayanmaktadır. Dolayısı ile tanımlanan nonlinear sınırlayıcı fonksiyonları;

- Taşıma kapasitesi azaltma faktörü sınırlayıcısı,
- Zemin radye rijitlik oranı sınırlayıcısı,
- Radye temel rijitlik oranı sınırlayıcısı,
- Oturma miktarı sınırlayıcısı,
- Kazıklı radye temel boyutlandırma sınırlayıcısı,
- Etki faktörü sınırlayıcısı,
- Radyenin taşıma kapasitesi sınırlayıcısı,
- Kazık verimliliği sınırlayıcısı.

#### 8.4.1. Taşıma kapasitesi azaltma faktörü sınırlayıcısı

Radye temel, üst yapıdan gelen yükleri taşıyamadığı durumlarda sisteme dahil edilen kazıklar, (kazık grup etkisinden dolayı) modellemede belirlenen taşıma kapasitesinden daha az yük taşımaktadır (Birand, 2007). Bu durum göz önünde bulundurularak, güvenli tarafta kalabilmek amacı ile, bir azaltma faktörü hesaplanmakta ve sisteme dahil edilmektedir (Garg, 2013).

Kapasite azaltma faktörü  $\alpha$ , için bir formülasyon önerilmektedir ve bu değer kazık boyu ile kazık çapı oranına bağlıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen  $\alpha$  değerinin, 0.8'i geçmemesi tavsiye edilmektedir (Garg, 2013). Kazık sayısındaki artış, kazık etkileşimini, yani grup etkisini arttıracığı için, kazık kapasitesi azaltma faktörünü de arttırmaktadır. Kapasite azaltma faktörünün değerini belirlemek amacı ile, regresyon analizine dayanan Denklem 8.5 kullanılmıştır.

$$\alpha_{azaltma} = 10^{-6} \cdot \left(\frac{L_{kazık}}{D_{kazık}}\right)^3 - 5.10^{-5} \left(\frac{L_{kazık}}{D_{kazık}}\right)^2 + 0,0003 \left(\frac{L_{kazık}}{D_{kazık}}\right) + 0,476 \quad (8.5)$$

$\alpha_{azaltma}$ : Kapasite azaltma faktörü

$L_{kazık}$ : Kazık uzunluğu (m)

$D_{kazık}$ : Kazık çapı (m)

Denklem 8.5'de tanımlanan kazık çapı, tasarım değişkenlerinden  $x(1)$  ve kazık uzunluğu ise  $x(2)$ ' yi ifade etmektedir.

Kapasite azaltma faktörü  $\alpha_{azaltma}$  değerinin 0 ile 1 aralığında tercih edilmesi önerilmiştir (Garg, 2013).



Ayrıca Garg ve ark. (2013) yapılan çalışmalarda,  $L_{kazık}/D_{kazık}$  oranındaki artış, toplam oturmayı %90' a kadar azaltmıştır.  $L_{kazık}/D_{kazık}$  oranının 30 olması durumunda optimum tasarımın sağlandığı gözlenmiştir (Garg, 2013).

Sınırlayıcı fonksiyonları Denklem 8.6 ve 8.7'de şu şekilde düzenlenerek algoritmaya yazılmıştır.

$$0 < 10^{-6} \cdot \left(\frac{L_{kazık}}{D_{kazık}}\right)^3 - 5.10^{-5} \left(\frac{L_{kazık}}{D_{kazık}}\right)^2 + 0,0003 \left(\frac{L_{kazık}}{D_{kazık}}\right) + 0,476 < 1 \quad (8.6)$$

$$0 < 10^{-6} \cdot \left(\frac{x(2)}{x(1)}\right)^3 - 5.10^{-5} \left(\frac{x(2)}{x(1)}\right)^2 + 0,0003 \left(\frac{x(2)}{x(1)}\right) + 0,476 < 1 \quad (8.7)$$

Bu düzenlemeler sonucunda 1. Sınırlayıcı Denklem 8.8'de şekilde yazılabilir.

$$g_1(x) = 10^{-6} \cdot \left(\frac{x(2)}{x(1)}\right)^3 - 5.10^{-5} \left(\frac{x(2)}{x(1)}\right)^2 + 0,0003 \left(\frac{x(2)}{x(1)}\right) - 0.524 \quad (8.8)$$

#### 8.4.2. Zemin-radye rijitlik oranı sınırlayıcısı

Kazıklı radye temellerin davranışı, kazık ile radyenin rijitliğine esnekliğine bağlıdır. Esnekliğin değerlendirilebilmesi için zemin-radye rijitlik oranının dikkate alınması gerekir (Viggiani, 2001).

$$K_{zeminradye} = \frac{4 \times E_{radye} \times (1 - v_{zemin}^2)}{3 \times E_{zemin} \times (1 - v_{radye}^2)} \times \frac{t_{radye}^3}{B_{radye}^3} \quad (8.9)$$

Burada;

$K_{zeminradye}$ : Zemin-radye rijitlik oranı

$E_{radye}$ : Radyenin elastisite modülü

$E_{zemin}$ : Zeminin elastisite modülü

$v_{radye}$ : Radyenin Poisson oranı

$v_{zemin}$ : Zeminin Poisson oranı

$t_{radye}$ : Radyenin kalınlığı

$B_{radye}$ : Radyenin genişliği

Bu tez çalışmasında, Denklem 8.9 kullanılan metasezgisel algoritmalara yazılarak üçüncü değişken olan radye kalınlığı ( $t_{\text{radye}}$ ) sınırlandırılmıştır. Zemin-radye rijitliği oranı,  $K_{\text{zeminradye}}$ 'nin değer aralığı, Viggiani (2001) tarafından şu şekilde sınırlandırılmıştır.

- $K_{\text{zeminradye}}=0.001$  ise radye mükemmel esnektir.
- $0 < K_{\text{zeminradye}} < 1$  ise radye orta esnektir.
- $K_{\text{zeminradye}} \geq 1$  ise radye mükemmel serttir.

Viggiani (2001) yaptığı çalışmada, radye temel tasarımında  $0.001 < K_{\text{zeminradye}} < 1$  aralığının kullanılmasının optimum boyutlandırmayı sağlayacağını tespit etmiştir.

Denklem 8.9' da  $t_{\text{radye}}$  ile ifade edilen parametre amaç fonksiyonunda yer alan radye kalınlığını ifade eden  $x(3)$  değişkenidir. Zemin-radye rijitlik oranı formülü radye temelin kalınlığını sınırlayan bir sınırlayıcı formüldür. Tasarım değişkenine göre düzenlenirse Denklem 8.10 şu şekilde yazılabilir.

$$K_{\text{zeminradye}} = \frac{4 \times E_{\text{radye}} \times (1 - v_{\text{zemin}}^2)}{3 \times E_{\text{zemin}} \times (1 - v_{\text{radye}}^2)} \times \frac{x(3)^3}{B_{\text{radye}}^3} \quad (8.10)$$

$$0.001 < K_{\text{zeminradye}} = \frac{4 \times E_{\text{radye}} \times (1 - v_{\text{zemin}}^2)}{3 \times E_{\text{zemin}} \times (1 - v_{\text{radye}}^2)} \times \frac{x(3)^3}{B_{\text{radye}}^3} < 1 \quad (8.11)$$

$$0.001 < \frac{4 \times E_{\text{radye}} \times (1 - v_{\text{zemin}}^2)}{3 \times E_{\text{zemin}} \times (1 - v_{\text{radye}}^2)} \times \frac{x(3)^3}{B_{\text{radye}}^3} < 1 \quad (8.12)$$

Bu düzenlemeler sonucunda 2. Sınırlayıcı fonksiyon şu şekilde yazılabilir.

$$0.001 < \frac{4 \times E_{\text{radye}} \times (1 - v_{\text{zemin}}^2)}{3 \times E_{\text{zemin}} \times (1 - v_{\text{radye}}^2)} \times \frac{x(3)^3}{B_{\text{radye}}^3} - 1 < 0 \quad (8.13)$$

$$g_2(x) = \frac{4 \times E_{\text{radye}} \times (1 - v_{\text{zemin}}^2)}{3 \times E_{\text{zemin}} \times (1 - v_{\text{radye}}^2)} \times \frac{x(3)^3}{B_{\text{radye}}^3} - 1 \leq 0 \quad (8.14)$$

#### 8.4.3. Radye rijitlik oranı sınırlayıcısı

Radyenin kalınlığı ile esnekliği yani rijitliği arasında doğrudan bir ilişki vardır (Alnuaim, 2017). İnce ve esnek radye temel sistemleri, rijit ve kalın radye temel sistemlerine göre daha fazla deformasyona uğrarlar. Bu aşırı deformasyon eğilimi ile, esnek yapıda olan radye, zemin ile daha fazla bir etkileşim içine girer ve bu sayede daha fazla yük taşıma davranışında bulunur (Alnuaim, 2017).

Brown (1969) sonlu eleman yöntemi ile radye temel analizleri yapmış ve radye temelin rijitliği ile kalınlığı arasındaki ilişkiyi tanımlayan, bir hesap yöntemi önermiştir.

$$K_{radye} = \left[ \frac{E_{radye}}{E_{zemin}} \right] \left( \frac{2t_{radye}}{S_{x-y}} \right)^3 \quad (8.15)$$

$K_{radye}$ : Radye rijitlik oranı

$E_{radye}$ : Radyenin elastisite modülü

$E_{zemin}$ : Zeminin ortalama elastisite modülü

$t_{radye}$ : Radyenin kalınlığı

$S_{x-y}$ : Kazıklar arası mesafe

- $K_{radye} > 10 \rightarrow$  Rijit radye temel
- $K_{radye} < 0.01 \rightarrow$  Esnek radye temel

Mayne ve Poulos (1999) radye rijitlik oranı  $K_{radye}$  için değer aralığını Denklem 8.16' daki gibi şu şekilde tanımlamışlardır.

$$0,01 < K_{radye} < 10 \quad (8.16)$$

$$0,01 < K_{radye} = \left[ \frac{E_{radye}}{E_{zemin}} \right] \left( \frac{2t_{radye}}{S_{x-y}} \right)^3 < 10 \quad (8.17)$$

$$0,01 < K_{radye} = \left[ \frac{E_{radye}}{E_{zemin}} \right] \left( \frac{2x(3)}{S_{x-y}} \right)^3 < 10 \quad (8.18)$$

$$K_{radye} = \left[ \frac{E_{radye}}{E_{zemin}} \right] \left( \frac{2x(3)}{S_{x-y}} \right)^3 - 10 < 0 \quad (8.19)$$

Brown (1969) geliştirdiği hesap yönteminde kazıkların etkisini de hesaba dahil etmiştir. Bunun nedeni kazıklar arası mesafenin, kazıklı radye temelin esnekliğini ya da rijitliğini etkilemesidir. Ayrıca kazıklar arası mesafenin kazık çapı oranı ile ifade edilmesi durumunda, formüle kazık çapı da dahil edilebilmektedir (Brown, 1969).

$$g_3(x) = \left[ \frac{E_{radye}}{E_{zemin}} \right] \left( \frac{2x(3)}{S_{x-y}} \right)^3 - 10 \leq 0 \quad (8.20)$$

#### 8.4.4. Oturma miktarı sınırlayıcısı

Kazıklı temel sistemlerinin esas kullanım amacı oturmaları sınırlamaktır (Birand, 2007). Kazıkların oturma miktarının hesaplanması için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Ampirik formüllerle, zemin-yapı etkileşimini ve gerilmelerin süperpoze

edilmesi ile, sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi ile hesaplanabilmektedir (Ünal, 2019).

Ampirik yöntemle göre; kazıkta meydana gelecek oturma hesaplarında, çap, boy, elastisite modülü ve kesit özelliklerine göre oturma miktarı Denklem 8.21'den hesaplanabilmektedir.

$$S_{toplam} = \frac{D_{kazık}}{100} + \frac{Q_F \cdot L_{kazık}}{A_{kazık} \cdot E_{kazık}} \quad (8.21)$$

$S_{toplam}$ : Toplam oturma miktarı

$D_{kazık}$ : Kazık çapı

$Q_F$ : Kazığın izin verilebilir yük taşıma kapasitesi

$L_{kazık}$ : Kazık uzunluğu

$A_{kazık}$ : Kazık alanı

$E_{kazık}$ : Kazığın Elastisite modülü

$$A_{kazık} = \frac{\pi \cdot D_{kazık}^2}{4} \quad (8.22)$$

Kazık alan formülü, oturma formülüne yazılırsa, Denklem 8.21 şu şekilde düzenlenebilir.

$$S_{toplam} = \frac{D_{kazık}}{100} + \frac{Q_F \cdot L}{\frac{\pi \cdot D_{kazık}^2}{4} \cdot E_{kazık}} \quad (8.23)$$

$$S_{toplam} = \frac{D_{kazık}}{100} + \frac{Q_F \cdot L_{kazık} \cdot 4}{\pi \cdot D_{kazık}^2 \cdot E_{kazık}} \quad (8.24)$$

Denklem 8.24' e göre  $D_{kazık}$ , kazık çapı tasarım değişkenlerinden  $x(1)$ ,  $L_{kazık}$ , kazık uzunluğu  $x(2)$ 'yi temsil etmektedir. Denklem 8.25'te yerine yazılırsa, sınırlayıcı fonksiyon Denklem 8.26'da tanımlanabilir.

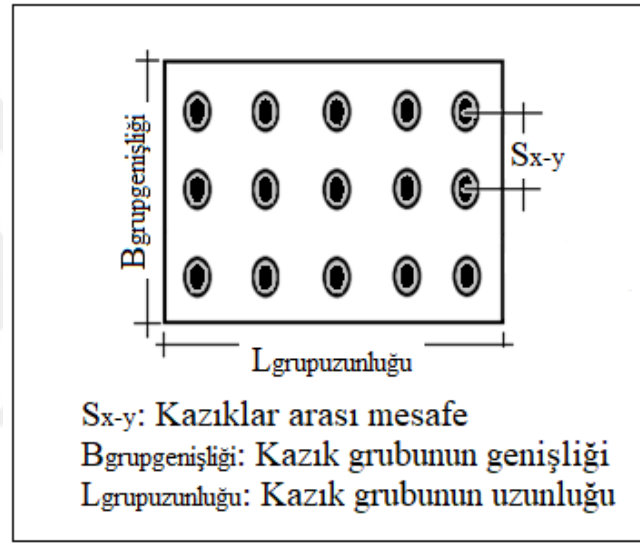
$$S_{toplam} = \frac{x(1)}{100} + \frac{Q_F \cdot x(2) \cdot 4}{\pi \cdot (x(1))^2 \cdot E_{kazık}} \quad (8.25)$$

$$g_4(x) = \frac{x(1)}{100} + \frac{Q_F \cdot x(2) \cdot 4}{\pi \cdot (x(1))^2 \cdot E_{kazık}} - 7 \leq 0 \quad (8.26)$$

#### 8.4.5. Kazıklı radye temel boyutlandırma sınırlayıcısı

Widjojo (2001) yaptıkları çalışmalarda kazıklı radye temel tasarımında kazık grubunun genişliğinin, radye temel genişliğine oranının optimum tasarım şartlarının sağlanabilmesi için 0.2-0.8 aralığında olması gerektiğini belirtmiştir. Kazık grubu genişliği ve kazık grubu uzunluğu Denklem 8.27 ile Şekil 8.1 dikkate alınarak hesaplanabilir. Şekil 8.1'de kazıklı radye temeldeki kazık grubunun, genişliği ve uzunluğu ile kazıklar arası mesafenin, temel planındaki görüntüsü yer almaktadır.

$$0,2 \leq \frac{B_{kazikgenisligi}}{B_{radye}} \leq 0,8 \quad (8.27)$$



Şekil 8.1. Kazık grubunun genişliği ve uzunluğu

$$B_{grupgenisligi} = (n_y - 1) \times S_{x-y} + 2(D_{kazik} / 2) \quad (8.28)$$

$$L_{grupuzunlugu} = (n_x - 1) \times S_{x-y} + 2(D_{kazik} / 2) \quad (8.29)$$

B<sub>grupgenisligi</sub>: Kazık grubu genişliği (m)

L<sub>grupuzunlugu</sub>: Kazık grubunun uzunluğu (m)

S<sub>x-y</sub>: Kazıklar arası mesafe (m)

n<sub>x</sub>: x doğrultusundaki kazık sayısı

n<sub>y</sub>: y doğrultusundaki kazık sayısı

B<sub>radye</sub>: Radyenin genişliği

$$0.2 \leq \frac{B_{grupgenisligi}}{B_{radye}} \leq 0,8 \quad (8.30)$$

$$0.2 \leq \frac{(n_y-1) \cdot s_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2)}{B_{radye}} \leq 0,8 \quad (8.31)$$

Denklem 8.31' de kazık çapı ile ifade edilen  $D_{kazık}$  parametresi tasarım değişkeni  $x(1)$  olduğu için Denklem 8.32 ve Denklem 8.33'te şu şekilde yazılabilir.

$$0.2 \leq \frac{(n_y-1) \cdot s_{x-y} + 2 \cdot (x(1)/2)}{B_{radye}} \leq 0,8 \quad (8.32)$$

$$g_5(x) = \frac{(n_y-1) \cdot s_{x-y} + 2 \cdot (x(1)/2)}{B_{radye}} - 0,8 \leq 0 \quad (8.33)$$

#### 8.4.6. Etki faktörü sınırlayıcısı

Kazık gruplarının elastik oturması için Meyerhof (1976) ampirik bir hesap yöntemi önermiştir. Denklem 8.34'te bu yöntem formülize edilmiştir. Etki faktörü sınırlayıcısı Denklem 8.35 ile düzenlenebilir.

$$s_{g(e)} = \frac{0,96 Q_F \sqrt{B_{grupgenişliği} I}}{N_{60}} \quad (8.34)$$

$B_{grupgenişliği}$ : Kazık grubunun genişliği

$N_{60}$ : Kazık uç noktasında ki ortalama standart penetrasyon sayısı

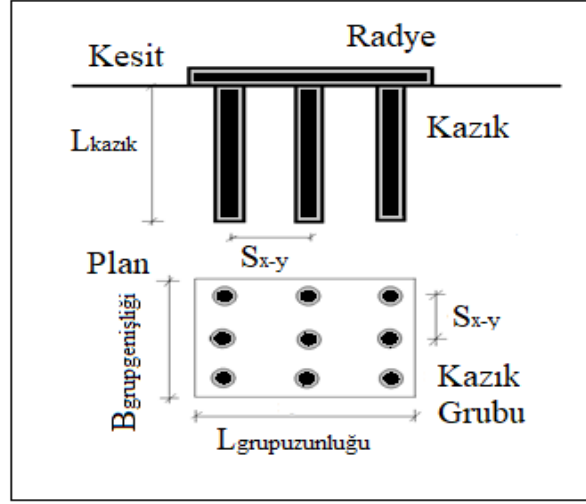
$I$ : Etki faktörü ( $\approx 0.85$ )

$s_{g(e)}$ : Kazık grubunun elastik oturması

$Q_F$ : Kazık taşıma kapasitesi

$$I = 1 - L_{kazık} / (8B_{grupgenişliği}) \geq 0,5 \quad (8.35)$$

$$0,5 \leq 1 - L_{kazık} / (8B_{grupgenişliği}) \leq 0,85 \quad (8.36)$$



Şekil 8.2. Kazık grubunun genişliği ve uzunluğunun kesit ve plan görüntüsü

Şekil 8.2’de kazıklı radye temeldeki kazık grubunun plan ve kesit görüntüsü yer almaktadır. Şekil 8.2’ye göre, etki faktörünün sınır değerlerinde formül düzenlenmiş ve  $B_{grup genişliği}$  Denklem 8.37’de yerine yazılırsa;

$$0,5 \leq 1 - L_{kazık} / \left[ 8 \cdot \left( (n_y - 1)S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık} / 2) \right) \right] \leq 0,85 \quad (8.37)$$

Burada;

$n_y$ : y doğrultusundaki kazık sayısı

$S_{x-y}$ : Kazıklar arası mesafe (m)

$L_{kazık}$ : Kazık uzunluğu (m)

$D_{kazık}$ : Kazık çapı (m)

$$1 - L_{kazık} / \left[ 8 \cdot \left( (n_y - 1)S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık} / 2) \right) \right] - 0,85 \leq 0 \quad (8.38)$$

$$0,15 - L_{kazık} / \left[ 8 \cdot \left( (n_y - 1)S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık} / 2) \right) \right] \leq 0 \quad (8.39)$$

Denklem 8.39’da yer alan  $L_{kazık}$  kazık boyunu,  $D_{kazık}$  ise kazık çapını ifade etmektedir. Tasarım değişkenleri  $x(1)$  ve  $x(2)$  sınırlayıcı fonksiyonuna yazılırsa,

$$0,15 - x(2) / \left[ 8 \cdot \left( (n_y - 1)S_{x-y} + 2 \cdot (x(1) / 2) \right) \right] \leq 0 \quad (8.40)$$

$$g_6(x) = 0,15 - x(2) / \left[ 8 \cdot \left( (n_y - 1)S_{x-y} + 2 \cdot (x(1) / 2) \right) \right] \leq 0 \quad (8.41)$$

Analizler sırasında, kazıklar arası mesafeyi temsil eden  $S_{x-y}$  parametresini Denklem 8.41’de, optimizasyon probleminin verilerine göre kazık çapı  $D_{kazık}$  cinsinden yazılarak optimizasyon kodu içerisine dahil edilmiştir.

#### 8.4.7. Radyenin taşıma kapasitesi sınırlayıcısı

Kazıklı radye temele etki eden hareketli-hareketsiz yükler, kazıklar ve radye tarafından farklı oranlarda paylaşılarak taşınmaktadır (Mandolini, 2013). Sanctis ve Mandolini (2006) üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemini temel alan analizler aracılığı ile, radyenin sisteme katkısını hesaplamışlardır.

$$FF = \frac{\left( \frac{A_{kazıkgrubu}}{A_{radye}} \right)}{\left( \frac{S_{x-y}}{D_{kazık}} \right)} \quad (8.42)$$

FF: Dolgu faktörü

$A_{kazıkgrubu}$ : Kazık grubunun alanı ( $m^2$ )

$A_{radye}$ : Radye temel alanı ( $m^2$ )

$S_{x-y}$ : Kazıklar arası mesafe

$D_{kazık}$ : Kazık çapı (m)

$$A_{kazıkgrubu} = L_{grupuzunluğu} \cdot B_{grupgenişliği} \quad (8.43)$$

$L_{grupuzunluğu}$ : Kazık grubunun uzunluğu (m)

$B_{grupgenişliği}$ : Kazık grubunun genişliği (m)

$$L_{grupuzunluğu} = (n_x - 1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık} / 2) \quad (8.44)$$

$$B_{grupgenişliği} = (n_y - 1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık} / 2) \quad (8.45)$$

$$A_{kazıkgrubu} = \left( (n_x - 1) \cdot S_{x-y} + D_{kazık} \right) \cdot \left( (n_y - 1) \cdot S_{x-y} + D_{kazık} \right) \quad (8.46)$$

$n_x$ : y doğrultusundaki kazık sayısı

$n_y$ : x doğrultusundaki kazık sayısı

$$A_{radye} = L_{radye} \cdot B_{radye} \quad (8.47)$$

$L_{radye}$ : Radyenin uzunluğu (m)

$B_{radye}$ : Radyenin genişliği (m)



Parametreler Denklem 8.48'e göre, Denklem 8.49'da yerine yazılırsa, ifade şu şekilde tanımlanabilir.

$$FF = \frac{\left(\frac{A_{kazıkgrubu}}{A_{radye}}\right)}{\left(\frac{S_{x-y}}{D_{kazık}}\right)} \quad (8.48)$$

$$FF = \frac{\left(\frac{((n_x-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2)) \cdot ((n_y-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2))}{L_{radye} \cdot B_{radye}}\right)}{\left(\frac{S_{x-y}}{D_{kazık}}\right)} \quad (8.49)$$

Sanctis ve Mandolini (2006) yaptıkları çalışmaların sonuçlarını grafiksel olarak tanımlamışlardır. Grafiğin eğimi 1/3 olduğundan güvenli tarafta kalmak için "Dolgu faktörü" değerinin bu değerden küçük olması gerektiği kanısına varmışlardır.

$$FF = \frac{\left(\frac{((n_x-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2)) \cdot ((n_y-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2))}{L_{radye} \cdot B_{radye}}\right)}{\left(\frac{S_{x-y}}{D_{kazık}}\right)} < \frac{1}{3} \quad (8.50)$$

$$FF = \frac{\left(\frac{((n_x-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2)) \cdot ((n_y-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2))}{L_{radye} \cdot B_{radye}}\right)}{\left(\frac{S_{x-y}}{D_{kazık}}\right)} - \frac{1}{3} \leq 0 \quad (8.51)$$

$$FF = \frac{\left(\frac{((n_x-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2)) \cdot ((n_y-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2))}{L_{radye} \cdot B_{radye}}\right)}{\left(\frac{S_{x-y}}{D_{kazık}}\right)} - \frac{1}{3} \leq 0 \quad (8.52)$$

$$g_7(x) = \frac{\left(\frac{((n_x-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2)) \cdot ((n_y-1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot (D_{kazık}/2))}{L_{radye} \cdot B_{radye}}\right)}{\left(\frac{S_{x-y}}{D_{kazık}}\right)} - \frac{1}{3} \leq 0 \quad (8.53)$$

Kazık çapı  $D_{kazık}$  tasarım değişkeni  $x(1)$  olduğu için Denklem 8.53'e yazılırsa, sınırlayıcı Denklem 8.54 ile şu şekilde tanımlanır.

$$g_7(x) = \frac{\left(\frac{((n_1-1) \cdot d + 2 \cdot (x(1)/2)) \cdot ((n_2-1) \cdot d + 2 \cdot (x(1)/2))}{L_r \cdot B_r}\right)}{\left(\frac{s}{x(1)}\right)} - \frac{1}{3} \leq 0 \quad (8.54)$$

#### 8.4.8. Kazık verimliliği sınırlayıcısı

Das (1999), düşey yük altında kazıkların bir blok gibi davrandığını düşünerek, grup verimliliği katsayısının Denklem 8.55'e göre hesaplanabileceğini ifade etmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarla bu katsayısının değer aralıkları 0 ile 1 arasında değiştiği vurgulanmıştır (Das, 1999).

$$\eta = \frac{2 \cdot (n_x + n_y - 2) \cdot S_{x-y} + 4D_{kazık}}{P_{kç} \cdot n_x \cdot n_y} \quad (8.55)$$

$$0 \leq \eta = \frac{2 \cdot (n_x + n_y - 2) \cdot S_{x-y} + 4D_{kazık}}{P_{kç} \cdot n_x \cdot n_y} \leq 1 \quad (8.56)$$

$P_{kç}$ : Kazık çevresi (m)

$n_x$ : x doğrultusundaki kazık sayısı

$n_y$ : y doğrultusundaki kazık sayısı

$\eta$ : Kazık grup verimliliği

$D_{kazık}$ : Kazık çapı (m)

$S_{x-y}$ : Kazıklar arası mesafe

$$P_{kç} = \pi \cdot D_{kazık} \quad (8.57)$$

Kazık çevresi grup verimliliği formülünde, Denklem 8.58' de yerine yazılırsa;

$$0 \leq \eta = \frac{2 \cdot (n_x + n_y - 2) \cdot S_{x-y} + 4D_{kazık}}{\pi \cdot D_{kazık} \cdot n_x \cdot n_y} \leq 1 \quad (8.58)$$

Formüle tasarım değişkenleri eklenirse, sınırlayıcı fonksiyonu, Denklem 8.61'de şu şekilde yazılabilir.

$$0 \leq \eta = \frac{2 \cdot (n_x + n_y - 2) \cdot S_{x-y} + 4x(1)}{\pi \cdot x(1) \cdot n_x \cdot n_y} \leq 1 \quad (8.59)$$

$$\frac{2 \cdot (n_x + n_y - 2) \cdot S_{x-y} + 4x(1)}{\pi \cdot x(1) \cdot n_x \cdot n_y} - 1 \leq 0 \quad (8.60)$$

$$g_B(x) = \frac{2 \cdot (n_x + n_y - 2) \cdot S_{x-y} + 4x(1)}{\pi \cdot x(1) \cdot n_x \cdot n_y} - 1 \leq 0 \quad (8.61)$$

Kazıklı radye temellerin optimizasyon problemlerinde izah edilen tasarım değişkenleri, sınırlayıcılar ve amaç fonksiyonu her bir algoritma için aynı alınmıştır. Optimizasyon analizlerinde dikkate alınan algoritma sınırlayıcı fonksiyonları Çizelge 8.1'de verilmiştir.

**Çizelge 8.1.** Optimizasyon analizlerinde kullanılan normalize edilmiş sınırlayıcı fonksiyonlar

Sınırlayıcılar	Formüller
Taşıma kapasitesi azaltma faktörü sınırlayıcısı	$g_1(x) = 10^{-6} \left( \frac{x(2)}{x(1)} \right)^3 - 5x10^{-5} \left( \frac{x(2)}{x(1)} \right)^2 + 0.0003 \left( \frac{x(2)}{x(1)} \right) - 0.524 \leq 0$
Zemin-radye rijitlik oranı sınırlayıcısı	$g_2(x) = \frac{4 \times E_{radye} \times (1 - v_{zemin}^2)}{3 \times E_{zemin} \times (1 - v_{radye}^2)} \times \frac{x(3)^3}{B_{radye}^3} - 1 \leq 0$
Radye temel rijitlik oranı sınırlayıcısı	$g_3(x) = \left[ \frac{E_{radye}}{E_{zemin}} \right] \left( \frac{2x(3)}{S_{x-y}} \right)^3 - 10 \leq 0$
Oturma miktarı sınırlayıcısı	$g_4(x) = \frac{x(1)}{100} + \frac{Q_F \cdot x(2) \cdot 4}{\pi \cdot (x(1))^2 \cdot E_{kazık}} \leq 0$
Kazıklı radye temel boyutlandırma sınırlayıcısı	$g_5(x) = \frac{(n_2 - 1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot \left( \frac{x(1)}{2} \right)}{B_{radye}} - 0,8 \leq 0$
Etki faktörü sınırlayıcısı	$g_6(x) = 0.15 - x(2) / \left[ 8 \cdot \left( (n_y - 1) S_{x-y} + 2 \cdot \left( \frac{x(1)}{2} \right) \right) \right] \leq 0$
Radyenin taşıma kapasitesi sınırlayıcısı	$g_7(x) = \frac{\left( \frac{\left( (n_x - 1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot \left( \frac{x(1)}{2} \right) \right) \cdot \left( (n_y - 1) \cdot S_{x-y} + 2 \cdot \left( \frac{x(1)}{2} \right) \right)}{L_{radye} \cdot B_{radye}} \right)}{\left( \frac{S_{x-y}}{x(1)} \right)} - \frac{1}{3} \leq 0$
Kazık verimliliği sınırlayıcısı	$g_8(x) = \frac{2 \cdot (n_x + n_y - 2) \cdot S_{x-y} + 4x(1)}{\pi \cdot x(1) \cdot n_x \cdot n_y} - 1 \leq 0$

### 8.5. Algoritma Parametreleri

Algoritma parametreleri daha önceki yapılan çalışmalarda kullanılan değerlere uygun olarak seçilmiştir. Sınırlayıcı fonksiyonlara dahil edilen zemin ve yapı parametreleri üç farklı gerçek boyutlu projeden alınmıştır. Algoritmalar için belirlenen iterasyon sayısı devam ettirilen analizlerde elde edilen sonuçların değişiklik göstermediği döngü sayılarıdır.

Bu tez çalışmasında, amaç fonksiyonları, sınırlayıcılar ile alt ve üst sınırlar çerçevesinde yazılan algoritma kodları maksimum iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar analiz edilip sonuçlar belirlenmiştir.

Algoritma kodları çalıştırıldığında, farklı çekirdek değerleri kullanıldığından, optimizasyon işlemi devamlı tekrarlandığında, farklı optimum sonuçların elde edildiği görülmüştür. Algoritma kodlarında kullanılan algoritma parametreleri, daha önceden hazırlanmış akademik çalışmalar dikkate alınarak ve farklı parametrelerin denenmesinin ardından en iyi çözümü vereceği düşünülen değerler seçilmiştir.

Optimizasyon analizlerinde kullanılan algoritma parametreleri, daha önceden kazıklı radye temeller ile ilgili yapılmış akademik çalışmalar dikkate alınarak seçilmiştir. Algoritmalarda kullanılan parametre değerleri Çizelge 8.2, 8.3, 8.4 ve 8.5'te yer almaktadır.

Birçok araştırmacı algoritma parametrelerinin belirlenmesi için çalışmalar yapmıştır. Örneğin; Yang (2008) yaptığı çalışmalarında HAA için Çizelge 8.2'de yer alan parametre değerlerini önermiştir. Temür ve Öser (2019) düşey yük altındaki kazıklı radye temellerin optimizasyonunu harmoni arama algoritmasında içerisinde olmak üzere, üç farklı algoritma ile incelemiştir. Araştırmacıların kullandıkları parametreler Çizelge 8.3'te yer almaktadır. Uray (2020) yatay ve düşey yüklü kazık gruplarının optimizasyonunu yapay arı koloni algoritması ve harmoni arama algoritması ile incelemiştir.

**Çizelge 8.2.** Önerilen HAA Parametreleri (Yang, 2008)

Algoritma parametresi	Değer
Harmoni hesaba katma oranı, HMCR	0.9
İki değer arasındaki ayarlama oranı (min), PAR	0.40
İki değer arasındaki ayarlama oranı (max), PAR	0.90

**Çizelge 8.3.** Önerilen HAA Parametreleri (Temür ve Öser, 2019)

Algoritma parametresi	Değer
Harmoni hesaba katma oranı, HMCR	0.9
İki değer arasındaki ayarlama oranı (min), PAR	0.40
İki değer arasındaki ayarlama oranı (max), PAR	0.90
Maksimum iterasyon sayısı	100

Literatür çalışmaları dikkate alınarak optimizasyon çalışmalarında, en iyi optimizasyon çözümü için YAKA ve HAA algoritmaları için seçilen parametreler Çizelge 8.4 ve 8.5'te verilmiştir.

**Çizelge 8.4.** Analizlerde kullanılan YAKA Parametreleri

Algoritma parametresi	Değer
Papülasyon sayısı, PS	30
Besin sayısı, BS	15
Modifikasyon oranı, MR	0.40
Limit	100
Maksimum iterasyon sayısı	500
Deneme sayısı	500

**Çizelge 8.5.** Analizlerde kullanılan HAA Parametreleri

Algoritma parametresi	Değer
Harmoni hafıza matris boyutları, HMS	30
Harmoni hesaba katma oranı, HMCR	0.95
İki değer arasındaki ayarlama oranı, PAR	0.30
Maksimum iterasyon sayısı, maksiter	500
Deneme sayısı	500

Ayrıca bu tez çalışmasında, bu algoritma parametreleri doğrultusunda, optimizasyon işlemlerinde üç tasarım değişkeni olarak kazık çapı, kazık uzunluğu ve radye temel kalınlığı benimsenmiştir. Tasarım değişkenlerinin alt-üst sınırı Bölüm 8.3.1’de tanımlanmıştır ve artım miktarları Çizelge 8.6’da sunulmuştur.

**Çizelge 8.6.** Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri ile artım miktarı

Tasarım değişkenleri	Alt sınır	Üst sınır	Artım miktarı
Kazık çapı (m), $D_{kazık}$	0.6	1.2	0.1
Kazık uzunluğu (m), $L_{kazık}$	10	40	0.5
Radye temel kalınlığı (m), $t_{radye}$	1.2	3	0.1

## 8.6. Randolph Hesap Analizleri ve Metasezgisel Algoritma Analizlerinin Matematiksel Olarak Doğrulama Analizleri

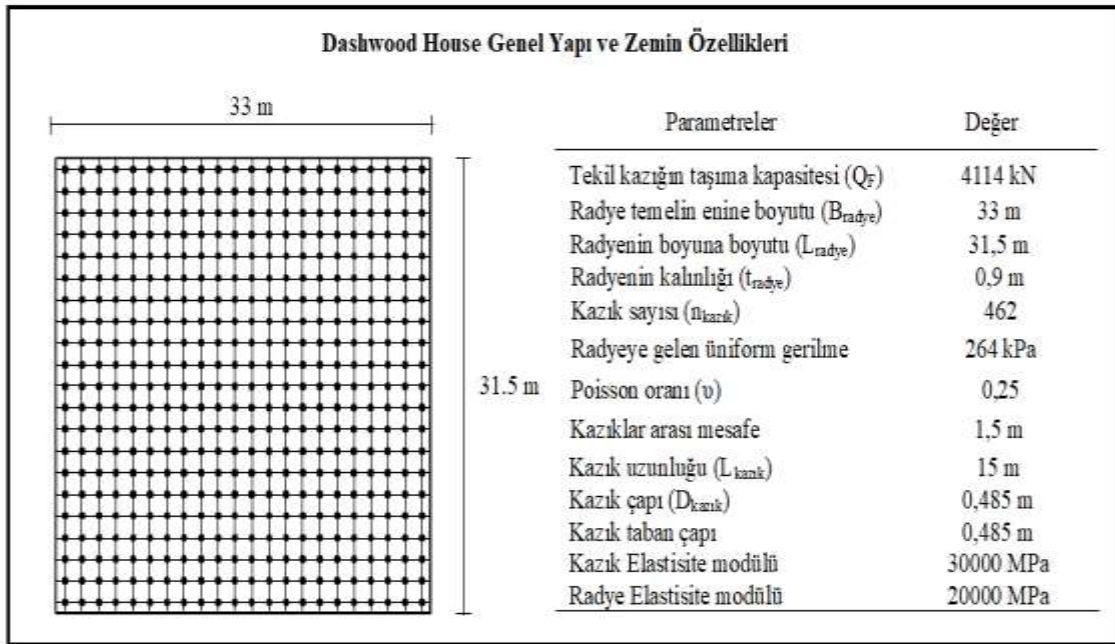
Bu tez çalışmasında kazıklı radye temellerin iki farklı metasezgisel algoritma kullanılarak, üç farklı proje üzerinden optimum beton hacim değerleri hesaplanmış ve algoritma sonuçları karşılaştırılmıştır. Bölüm 7’de Randolph hesap yönteminin benimsendiği ve oturma miktarının hesaplandığı bir kod düzenlenmiştir. Bu kod ile projenin genel özellikleri koda işlenerek oturma miktarı hesaplanmaktadır. Bu nedenle 7. Bölümde düzenlenen hesap kodu yardımı ile kazıklı radye temellerde bazı özelliklerin değişmesi durumunda oturma miktarında meydana gelebilecek değişiklik araştırılmış ve çıkan sonuçlar Çizelge 7.3-Şekil 7.1, Çizelge 7.4-Şekil 7.2, Çizelge 7.5-Şekil 7.3, Çizelge 7.6-Şekil 7.4-Şekil 7.5 ve Şekil 7.6 ile Şekil 7.7’ de sunulmuştur.

8. Bölümde üç farklı uygulama projesi için amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonlar dikkate alınarak yazılan iki farklı metasezgisel algoritma ile (YAKA: Yapay Arı Koloni Algoritması ve HAA: Harmoni Arama Algoritması) optimum boyutları ve kullanılan optimum beton hacmi değerleri optimizasyon analizleri ile bulunmuştur. Yapılan çalışmaların doğrulama analizleri ise bu bölümde Bölüm 8.8’de ifade edilecektir. Doğrulama analizleri için önceki yıllarda araştırmacıların yaptıkları çalışmalar baz alınmıştır. Zemin ve yapı parametreleri ilgili çalışmalara göre seçilerek analiz edilmiş ve oturma değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 8.8.1 ve Bölüm 8.8.2’de literatür ile karşılaştırılmıştır.

### 8.6.1. Randolph hesap yönteminin doğrulama analizleri ve literatür ile karşılaştırılması

Kazıklı radye temellerin kullanılmasındaki etkin nedenlerden birisi oturma miktarının sınırlandırılmasıdır (Birand, 2007). Tez çalışmasının 7. Bölümünde “Kazıklı Radye Temellerde” oturma miktarındaki değişim incelenmiştir. Düzenlenen hesap kodu ile zemin ve yapı parametreleri koda işlendiği takdirde oturma miktarı hesaplanmaktadır.

Düzenlenen Randolph hesap kodunun doğruluk analizleri Bölüm 8.8’de bahsedildiği üzere literatürde yapılan çalışmalarla incelenmiştir. Bu anlamda doğruluk analizlerinde incelenen ilk çalışma, Hermann (2022) vd., tarafından hazırlanan “Dashwood House” projesidir. Hermann (2022) vd., Londra’da bulunan gerçek boyutlu ve yüksek katlı Dashwood House projesi için EPLHA sonlu elemanlar programı ile kazıklı radye temel analizleri yapmış ve oturma miktarını incelemiştir.



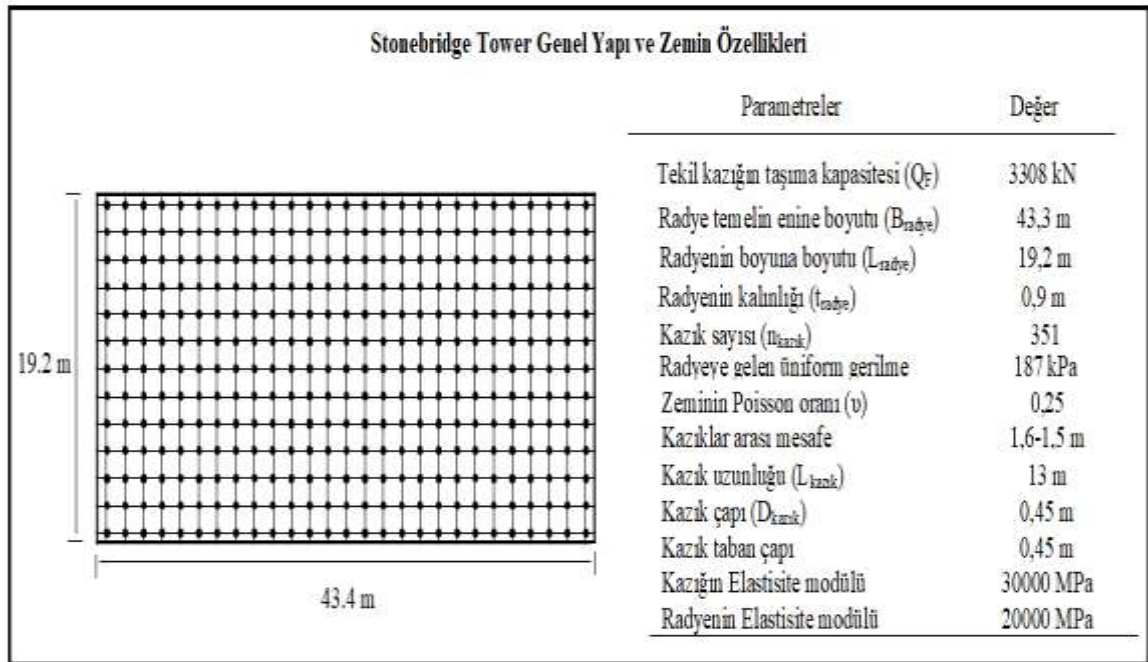
Şekil 8.3. Dashwood House genel zemin ve yapı özellikleri (Hermann, 2022)

Şekil 8.3’te görüldüğü üzere, kazıklı radye temel projesi 462 kazıktan oluşmaktadır ve kazık yerleşim düzeni ise  $22 \times 21$ ’ dir. Şekil 8.3’e göre radye temel genişliği 33m, radye temel uzunluğu 31.5m, radye temel kalınlığı 0.9m, kazık çapı 0.485 m, kazık uzunluğu 15m, kazıklar arası 1.5m olarak seçilmiştir. Zemin genel yapısı ise aşırı konsolide Londra kilidir. Zemin profilinin ilk 10m’inde zemin Elastisite modülü 90 MPa, sonraki 20m’inde ise zemin Elastisite modülü 125MPa’dır. ELPLA yazılımı ile yapılan analizler sonucunda oturma miktarı 3.3cm hesaplanmıştır. Projenin yapı ve zemin

özellikleri Randolph hesap kodu ile analiz edildiğinde oturma miktarı 3.4cm olarak bulunmuştur.

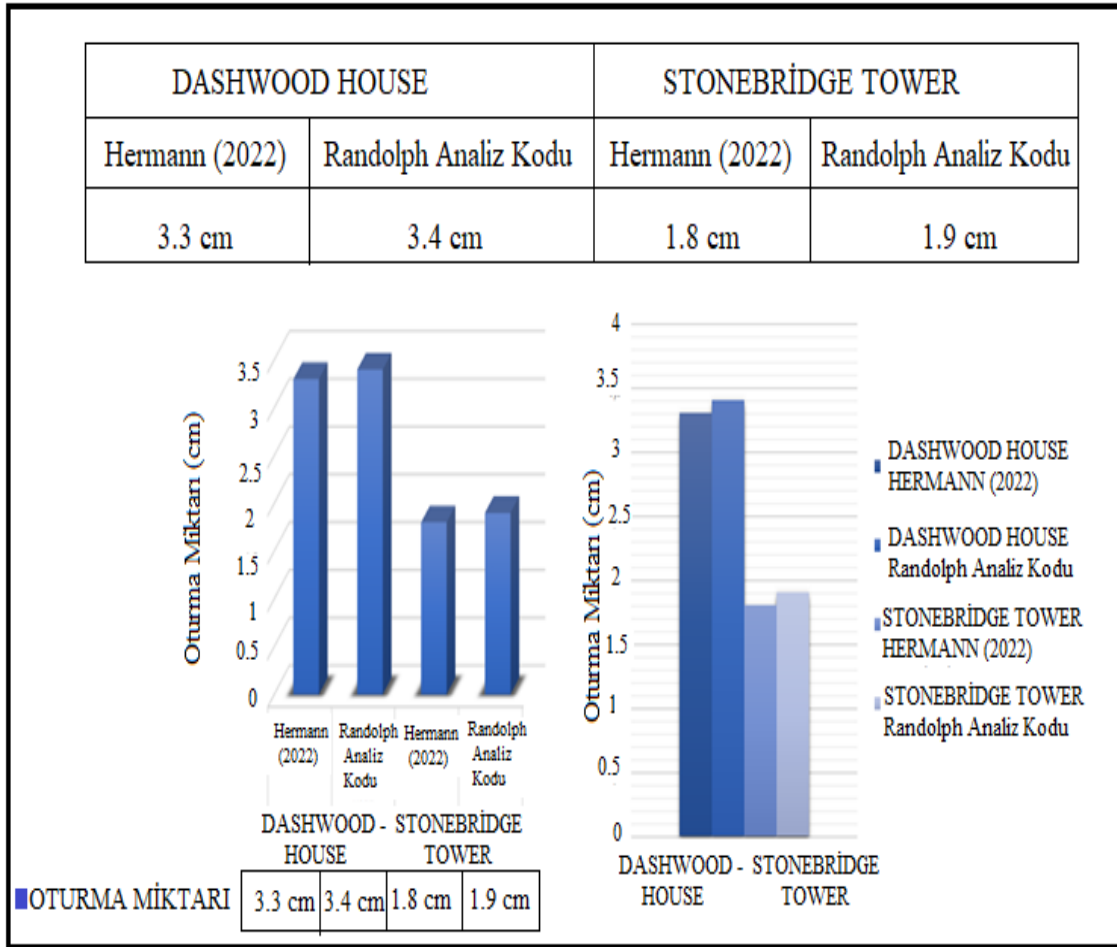
Buna göre analizler sonucunda ELPLA yazılımı ile Randolph hesap kodunda elde edilen oturma değerleri arasında %3 lük bir fark gözlemlenmiştir. Bu sonuç Randolph hesap kodunun, sonlu elemanlar yöntemi esaslı bir yazılım olan ve kazıklı radye temeller için oturma hesabı yapan ELPLA yazılımı ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

Randolph hesap kodu için yapılan doğrulama analizlerinin ikincisi Hermann (2022) vd., kazıklı radye temel üzerinde yaptıkları bir diğer çalışmadır. Oturma analizleri, Londra’da Stonebridge Tower binası için de gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ELPLA yazılımı kullanılmıştır. Projenin genel özellikleri Şekil 8.4’te verilmiştir.



**Şekil 8.4.** Stonebridge Tower binasının zemin ve yapı özellikleri (Hermann, 2022)

Kazık yerleşim düzeni  $27 \times 13$  olarak tasarlanmıştır. Zemin genel yapısı ise aşırı konsolide Londra kilidir. Zemin profilinin ilk 10m’sinde zemin Elastisite modülü 90 MPa, sonraki 20m’sinde ise zemin Elastisite modülü 125MPa’dır. Şekil 8.4’te verilere göre ELPLA yazılımı ile kazıklı radye temelin oturma miktarı 1.8cm, zemin ve yapı parametreleri Randolph hesap kodunda temel sisteminin oturma miktarı 1.9cm hesaplanmıştır. Bu sonuç ELPLA programı ile Randolph hesap kodunun yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir (Şekil 8.5).



Şekil 8.5. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

### 8.6.2. Optimizasyon analizlerinin literatür ile karşılaştırılması ve doğrulama analizleri

Kazıklı radye temellerin metasezgisel algoritmalarla optimum boyutlarının araştırıldığı bu tez çalışmasında, analiz sonuçlarının doğruluğunun değerlendirilmesi adına, literatürde farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen analiz verileri optimizasyon koduna işlenerek oturma miktarı üzerinden doğrulama analizleri yapılmıştır.

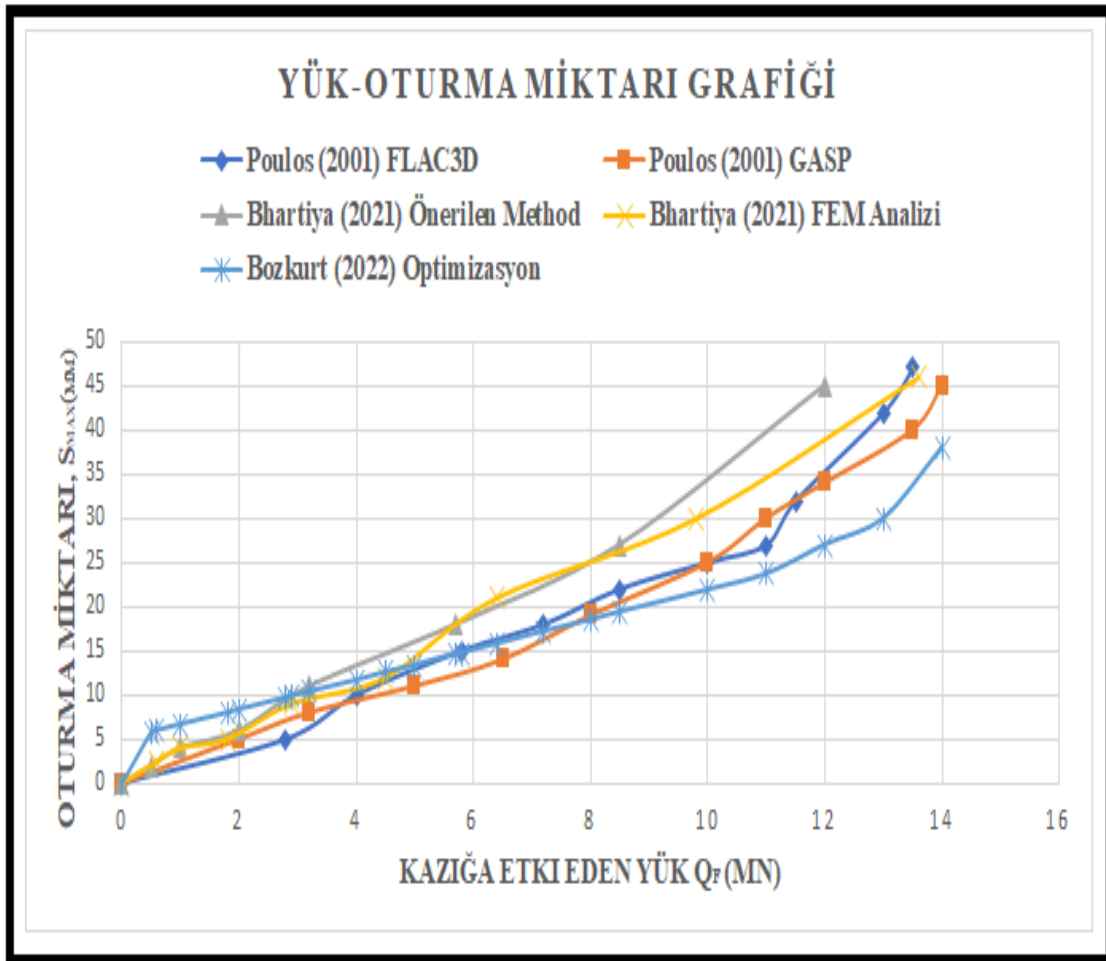
Mevcut optimizasyon analizlerinin doğruluğunun araştırılması için, ilk olarak Poulos (2001) tarafından FLAC3D ve GASP yazılımları kullanılarak gerçekleştirilen analizler ile kodlama sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Poulos (2001) yaptığı çalışmada, kazıklı radye temel modeline göre diktörgen kesitli radye temel genişliği  $B_{\text{radye}}=10$  m, kazıklı radye uzunluğu  $L_{\text{radye}}=6$  m, radye temel kalınlığı  $t_{\text{radye}}=0.5$  m'dir. Kazık uzunluğu  $L_{\text{kazık}}=10$  m, kazık çapı  $D_{\text{kazık}}=0.5$  m ve kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}=9$  adettir. Zemin



profilinin  $E_s = 20$  MPa, Poisson oranı  $\nu = 0.3$  ve kazık için  $E_{kazık} = E_{radye} = 30000$  MPa,  $\nu_{kazık} = \nu_{radye} = 0.2$  olarak seçilmiştir. Analizlerde 14MN'a kadar değişen kazık taşıma kapasitesi değerleri ile oturma miktarı analizleri yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 8.6 da yer almaktadır.

İkinci doğrulama analizi için Bhartiya (2021) yaptığı çalışma dikkate alınmıştır. Bhartiya (2021) yaptığı çalışmada Poulos (2001)'un çalışmasında yer alan analiz verilerini kullanarak matematiksel formüllerle ve sonlu eleman yöntemi olan FEM analizleri ile oturma miktarını hesaplamış ve karşılaştırmıştır. Analizler sonucunda elde edilen yük-oturma miktarı değerleri Şekil 8.6'da yer almaktadır.

Poulos (2001) ve Bhartiya (2021) tarafından analizlerde kullanılan parametreler optimizasyon kodunda değişen yük miktarına göre analiz edilmiş ve oturma miktarı değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, Poulos (2001) ile Bhartiya (2021) tarafından gerçekleştirilen analizlerle kıyaslanmıştır.



Şekil 8.6. Yük-oturma miktarı grafiği

### 8.7. Gerçek Boyutlu Üç Farklı Projenin, YAKA ve HAA Metasezgisel Algoritmaları ile Optimizasyonu

Kazıklı radye temellerin tasarımına etki eden, temel boyutlarını ve zemin özelliklerini içerisinde barındıran birçok parametre mevcuttur. Kazıklı radye temellerin tasarımında, yapının yüksek ve çok katlı olması, önem arz eden bir yapı olması, zemin özelliklerinin olumsuzluk göstermesi, yüksek maliyetlerle inşa edilmesi, deprem etkisi gibi birçok faktör tasarımı zor ve karmaşık bir hale getirmektedir (Birand, 2007).

Ayrıca, tasarımların ekonomik çözümler sunmasında beklenen bir diğer kriterdir. Bu nedenle hem ekonomik hem de güvenli tarafta kalan kazıklı radye temellerin optimum tasarımlarının elde edilebilmesine olanak sağlayan metasezgisel yöntemlerin kullanılması ile hem güvenilir hem de ekonomik tasarımlar çok kısa bir sürede elde edilebilmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda, bu bölümde kazıklı radye temellerin optimum tasarımları, daha önce Bölüm 6'da tanımlanan yapay arı koloni algoritması (YAKA) ve harmoni arama algoritması (HAA) ile elde edilmiştir. Özellikle radye boyutlarının ve kazık sayısının değiştirilmesi ile elde edilen tasarım boyutları çizelgelerde verilmiştir.

Optimizasyon analizleri, gerçek boyutlu, üç farklı proje üzerinden gerçekleştirilmiştir. Zemin ve yapı parametreleri, ilgili projelerden alınmıştır ve bazı yapı parametreleri değiştirilerek, tasarım değişkenleri olan; kazık çapı, kazık uzunluğu ve radye kalınlığı değerleri tespit edilmiştir.

Optimum boyutları araştırılan projeler, çok katlı bir yapıya sahip ve konut projesi olarak tasarlanmış yapılardır. Gerçek boyutlu projelerden birincisi yapımı tamamlanmış bir konut projesidir. İlgili projelerin gerçekte kullanılan boyutları ile uyumlu analizler yapılmıştır.

Elde edilen değerlerin amaç fonksiyonundaki beton hacmi hesaplanarak, hacimsel olarak optimum sonuçlar bulunmuştur. Buradaki temel amaç; optimum boyutların tespit edilmesi ile, beton hacmindeki azalmanın gözlemlenmesidir.

Tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitleri proje boyutları ile uyumlu olarak seçilmiştir. Bunun nedeni ise, boyutları optimize edilmeye çalışılan projenin, diğer tasarım kriterlerini de sağlayabilmesidir.

### 8.7.1. Gerçek boyutlu birinci projenin YAKA ile optimizasyonu

Optimum boyutları araştırılan projelerden birincisi yapımı 2009 yılında tamamlanmış çok katlı bir konut projesidir. Yapı zemininin taşıma gücü özelliklerinin yetersiz olması, 1. Derece deprem bölgesinde yer alması, kat sayısı fazla bir yapı projesi olması gibi nedenlerle temel sistemi kazıklı radye temel olarak seçilmiştir.

**Çizelge 8.7.** Birinci projenin kazıklı radye temel hesap modelinin genel parametreleri

Parametreler	Değer
Tekil kazığın taşıma kapasitesi ( $Q_F$ )	1675 kN
Radye temelin enine boyutu ( $B_{\text{radye}}$ )	40 m
Radyenin boyuna boyutu ( $L_{\text{radye}}$ )	80 m
Radyenin kalınlığı ( $t_{\text{radye}}$ )	2 m
Kazık sayısı ( $n_{\text{kazık}}$ )	264
Radyeye gelen üniform gerilme	148 kPa
Zeminin Poisson oranı ( $\nu$ )	0,35
Kazıklar arası mesafe	2 m
Kazık uzunluğu ( $L_{\text{kazık}}$ )	17 m
Kazık çapı ( $D_{\text{kazık}}$ )	0.8 m
Kazık taban çapı	0.8 m
Zemin Elastisite modülü	40 MPa

Çizelge 8.7’de optimum boyutları araştırılan gerçek boyutlu projenin yapı ve zemin özellikleri verilmiştir. Kazık çapı  $\phi 80$  ve kazık boyu ise 17 m seçilmiştir. Kazık taban çapı değişmemiş ve  $\phi 80$  olarak tasarlanmıştır. Kazıklar arası mesafe  $2.5D_{\text{kazık}}=2\text{m}$  olarak belirlenmiştir. Projede, yerleşim düzeni x ve y yönünde  $12 \times 22$  olarak toplam 264 adet kazık kullanılmıştır. Projenin inşaa edildiği zemin profiline göre, sert yeşilimsi gri renkli, yer yer az ince kabuklu kil diye nitelendirilen zeminde, yüzeyden 2.55-5.90m’ de yeraltı suyu gözlemlenmiştir. Kazıkların Elastisite modülü ve radyenin Elastisite modülü ile kazık ve radyenin Poisson oranı değerleri Çizelge 8.8’de verilmiştir.

**Çizelge 8.8.** Kazık ve radye özellikleri

Parametreler	Değer
Kazığın Elastisite modülü, $E_{\text{kazık}}$	16583 MPa
Radyenin Elastisite modülü, $E_{\text{radye}}$	32000 MPa
Kazığın Poisson oranı $\nu_{\text{kazık}}$	0.2
Radyenin Poisson oranı, $\nu_{\text{radye}}$	0.2
Kazık yerleşim düzeni	$12 \times 22$

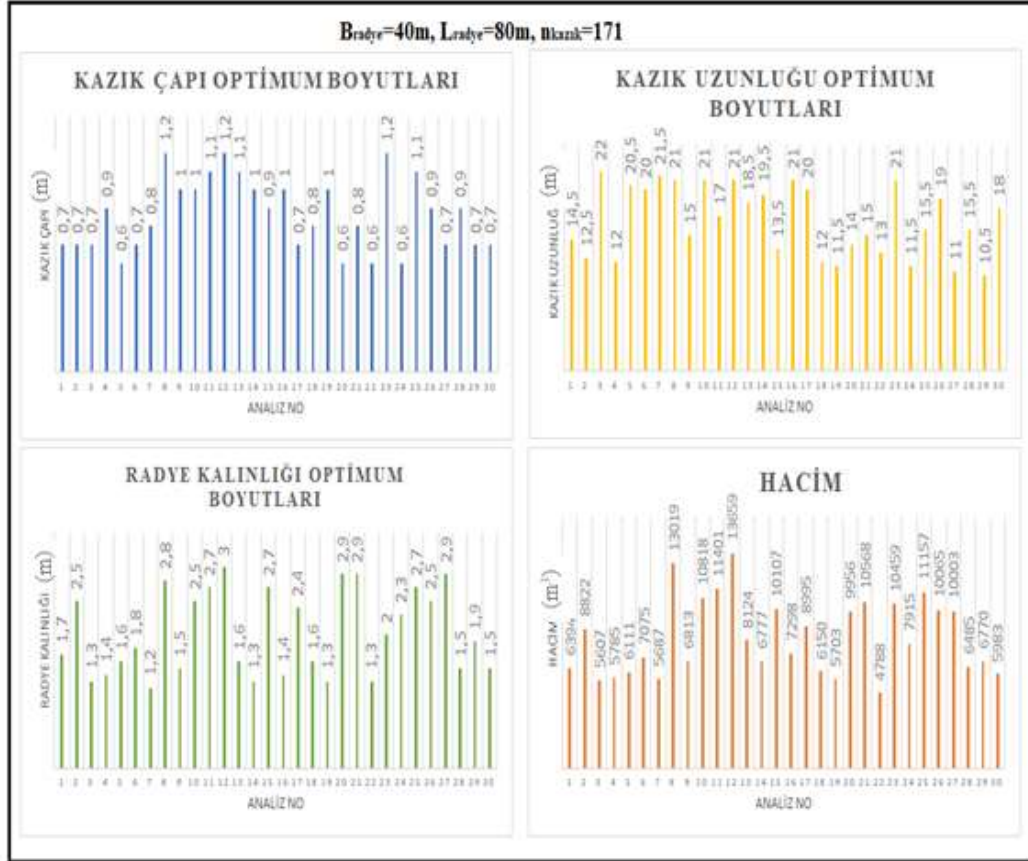
Çizelge 8.7 ve 8.8’de verilen bilgilere göre, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar dikkate alınarak tanımlanan YAKA (Yapay Arı Koloni Algoritması) ve HAA (Harmoni Arama Algoritması) ile projenin optimum boyutları araştırılmıştır. Analizlerde Çizelge 8.7 ve 8.8’de belirtilen zemin, kazık ve radye parametreleri YAKA’ ya yazılarak, gerçek boyutlu çok katlı yapının optimum boyutları belirlenmiştir. Analizlerde iki farklı durum değerlendirilmiştir. İlk durumda kazık sayısı, ikinci durumda ise radye temel boyutları

değiştirilerek, analizler yapılmış ve optimum boyutlar araştırılmıştır. Kazık sayısı 7. Bölümde gerçekleştirilen analizlerdeki değerlerle aynı seçilmiş ve 7. Bölümde, Randolph hesap kodunda yapılan işlemlerde kullanılan gerçek boyutlu proje, 8. Bölümde analizlerde kullanılan birinci projedir. Dolayısı ile iki bölümde de kullanılan zemin ve yapı parametreleri aynıdır. Kazık sayısı değişiminde, analizlerde kazık sayısı sırası ile 171, 200, 231, 264 ve 299 olarak seçilmiştir. Radye boyutlarının değişiminde ise;  $B_{\text{radye}}=42$  m,  $L_{\text{radye}}=82$  m;  $B_{\text{radye}}=44$  m,  $L_{\text{radye}}=84$  m;  $B_{\text{radye}}=46$  m,  $L_{\text{radye}}=86$  m;  $B_{\text{radye}}=48$  m,  $L_{\text{radye}}=88$  m olarak radye boyutları belirlenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen optimum boyutlu kazıklı radye temel tasarımlarının, temel sistemindeki kazık yerleşim düzeni EK-1'te verilmiştir. İlk olarak kazık sayısı değiştirilmiş ve optimum boyutlara göre hacim değerleri araştırılmıştır. İkinci durumda ise, kazık sayısı proje ile uyumlu olarak sabit tutulmuş ve projenin kazık sayısı, 264 seçilerek radye temel boyutları değiştirilmiş ve optimizasyon analizleri yapılmıştır.

**Çizelge 8.9.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40$ m,  $L_{\text{radye}}=80$ m ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=171$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	40	80	0,7	14,5	1,7	6394
2	40	80	0,7	12,5	2,5	8822
3	40	80	0,7	22,0	1,3	5607
4	40	80	0,9	12,0	1,4	5785
5	40	80	0,6	20,5	1,6	6111
6	40	80	0,7	20,0	1,8	7075
7	40	80	0,8	21,5	1,2	5687
8	40	80	1,2	21,0	2,8	13019
9	40	80	1,0	15,0	1,5	6813
10	40	80	1,0	21,0	2,5	10818
11	40	80	1,1	17,0	2,7	11401
12	40	80	1,2	21,0	3,0	13659
13	40	80	1,1	18,5	1,6	8124
14	40	80	1,0	19,5	1,3	6777
15	40	80	0,9	13,5	2,7	10107
16	40	80	1,0	21,0	1,4	7298
17	40	80	0,7	20,0	2,4	8995
18	40	80	0,8	12,0	1,6	6150
19	40	80	1,0	11,5	1,3	5703
20	40	80	0,6	14,0	2,9	9956
21	40	80	0,8	15,0	2,9	10568
<b>22</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,6</b>	<b>13,0</b>	<b>1,3</b>	<b>4788</b>
23	40	80	1,2	21,0	2,0	10459
24	40	80	0,6	11,5	2,3	7915
25	40	80	1,1	15,5	2,7	11157
26	40	80	0,9	19,0	2,5	10065
27	40	80	0,7	11,0	2,9	10003
28	40	80	0,9	15,5	1,5	6485
29	40	80	0,7	10,5	1,9	6770
30	40	80	0,7	18,0	1,5	5983

Çizelge 8.9’da kazık sayısı 171 olarak, 9×19 yerleşim düzeninde, YAKA’ da çok katlı konut projesinin analizler yapılmıştır. Elde edilen optimum boyutlara göre amaç fonksiyonunda tanımlanarak, 30 farklı analiz sonucu için, hacim değerleri Çizelge 8.9’da, Şekil 8.7’de elde edilen kazık çapının optimum değerleri, optimum kazık uzunluğu değerleri ve optimum radye temel kalınlığı ve hacim değerlerinin grafikleri verilmiştir.



**Şekil 8.7.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=171$ )

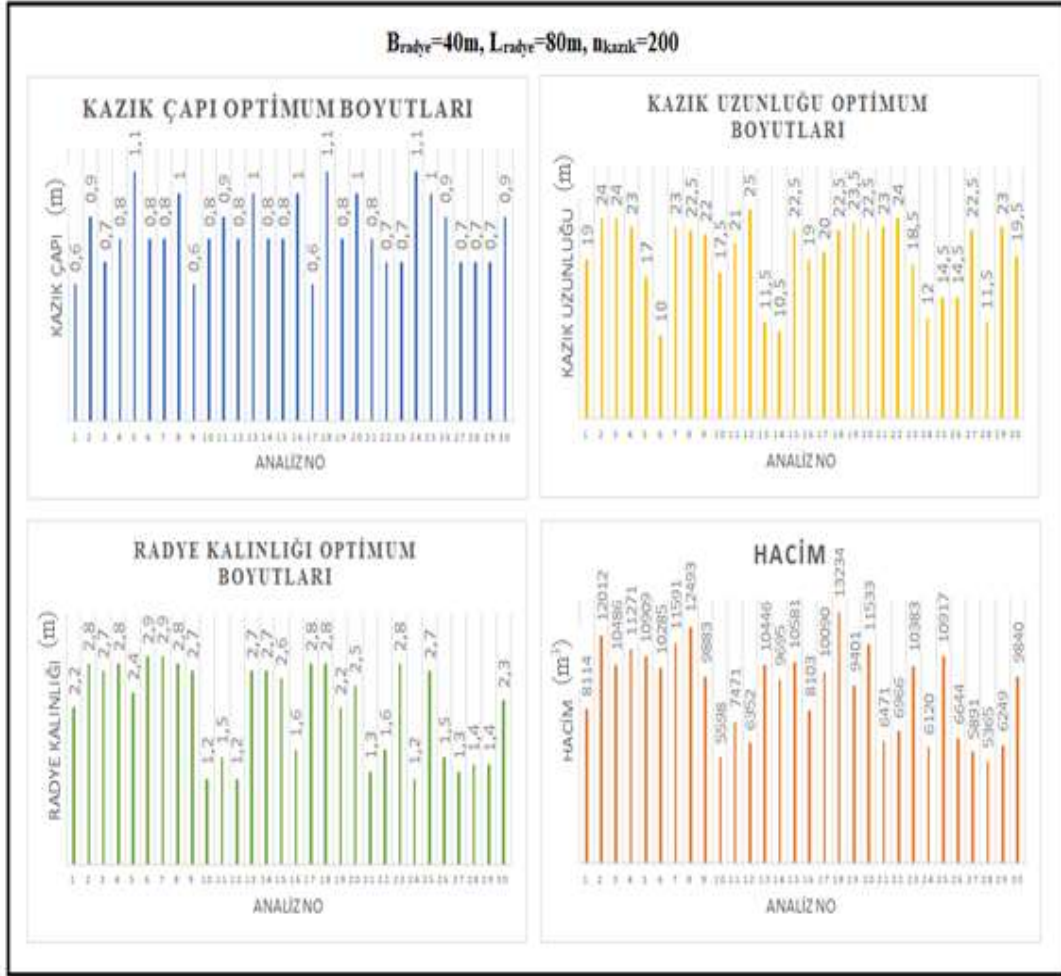
Gerçekleştirilen analizlerde en iyi sonuçlar olduğu düşünülen 30 analiz sonucu seçilmiştir. Şekil 8.7’ye göre optimum kazık çapı 0.6m, kazık optimum uzunluğu 13 m, optimum radye kalınlığı ise 1.3 m’dir. Optimum hacim değeri 22 numaralı analiz verilerinde yer almaktadır ve optimum hacim değeri ise  $4788 \text{ m}^3$ ’ tür.

Kazık sayısı değişiminin incelendiği analizlerde, Çizelge 8.10’da yerleşim düzeni  $10 \times 20$  olarak 200 adet kazık ile analizler sonucunda elde edilen değerler sunulmuştur. En iyi 30 sonuç Çizelge 8.10’da verilmiştir. Optimum değerler 28 numaralı analiz sonucunda tespit edilmiştir.

**Çizelge 8.10.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=200$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	40	80	0,6	19,0	2,2	8113
2	40	80	0,9	24,0	2,8	12012
3	40	80	0,7	24,0	2,7	10486
4	40	80	0,8	23,0	2,8	11271
5	40	80	1,1	17,0	2,4	10909
6	40	80	0,8	10,0	2,9	10284
7	40	80	0,8	23,0	2,9	11591
8	40	80	1,0	22,5	2,8	12492
9	40	80	0,6	22,0	2,7	9883
10	40	80	0,8	17,5	1,2	5598
11	40	80	0,9	21,0	1,5	7470
12	40	80	0,8	25,0	1,2	6352
13	40	80	1,0	11,5	2,7	10445
14	40	80	0,8	10,5	2,7	9695
15	40	80	0,8	22,5	2,6	10580
16	40	80	1,0	19,0	1,6	8103
17	40	80	0,6	20,0	2,8	10090
18	40	80	1,1	22,5	2,8	13234
19	40	80	0,8	23,5	2,2	9401
20	40	80	1,0	22,5	2,5	11532
21	40	80	0,8	23,0	1,3	6471
22	40	80	0,7	24,0	1,6	6966
23	40	80	0,7	18,5	2,8	10383
24	40	80	1,1	12,0	1,2	6119
25	40	80	1,0	14,5	2,7	10916
26	40	80	0,9	14,5	1,5	6643
27	40	80	0,7	22,5	1,3	5890
<b>28</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,7</b>	<b>11,5</b>	<b>1,4</b>	<b>5364</b>
29	40	80	0,7	23,0	1,4	6249
30	40	80	0,9	19,5	2,3	9839

Şekil 8.8’de optimum temel boyutları ve hacim değerleri grafiksel olarak ifade edilmiştir. Optimum kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 11.5m ve radye temel kalınlığı 1.4m olarak tespit edilmiştir. Optimum hacim değeri ise Şekil 8.8’e göre 5364  $\text{m}^3$ ’tür. Kazık sayısının 171’den 200’e çıkarılması durumunda ortalama optimum hacim değerinde yaklaşık %12’lik bir artışa neden olmuştur.



Şekil 8.8. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=200$ )

Çizelge 8.11’ de kazık sayısının 11x21 yerleşim düzeninde 231 olması durumunda elde edilen en iyi 30 analiz sonucunu göstermektedir. Optimum temel boyutları 4 numaralı analizde yer alan değerlerdir ve Şekil 8.9’da grafiksel olarak sunulmuştur. Optimum kazık çapı 0,6m, kazık uzunluğu 17.5m ve radye temel kalınlığı 1.5 m olarak bulunmuştur. Kazık sayısının artırılması, ilk analizler dikkate alındığında (kazık sayısının 171 olması durumunda) optimum hacim değerinde yaklaşık %24’ lük artış oluşturmuştur.

Kazık sayısının artırılması durumunda, Bölüm 7’deki analizlerden de gösterildiği üzere oturmayı azaltırken, kazık sayısı artışına bağlı olarak, beton hacminde artış olmaktadır. Bu nedenle optimum kazık sayısının belirlenmesi önemli, bir husustur.

Kazıklı radye temelin kullanım amaçlarından birisi oturmayı izin verilebilir seviyeye indirmektir. Bu yüzden kazıklı radye temel tasarımında ki ana problem; oturmayı azaltacak doğru sayıda kazığın tespit edilmesidir (Birand, 2007).

**Çizelge 8.11.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=231$  seçilmesi

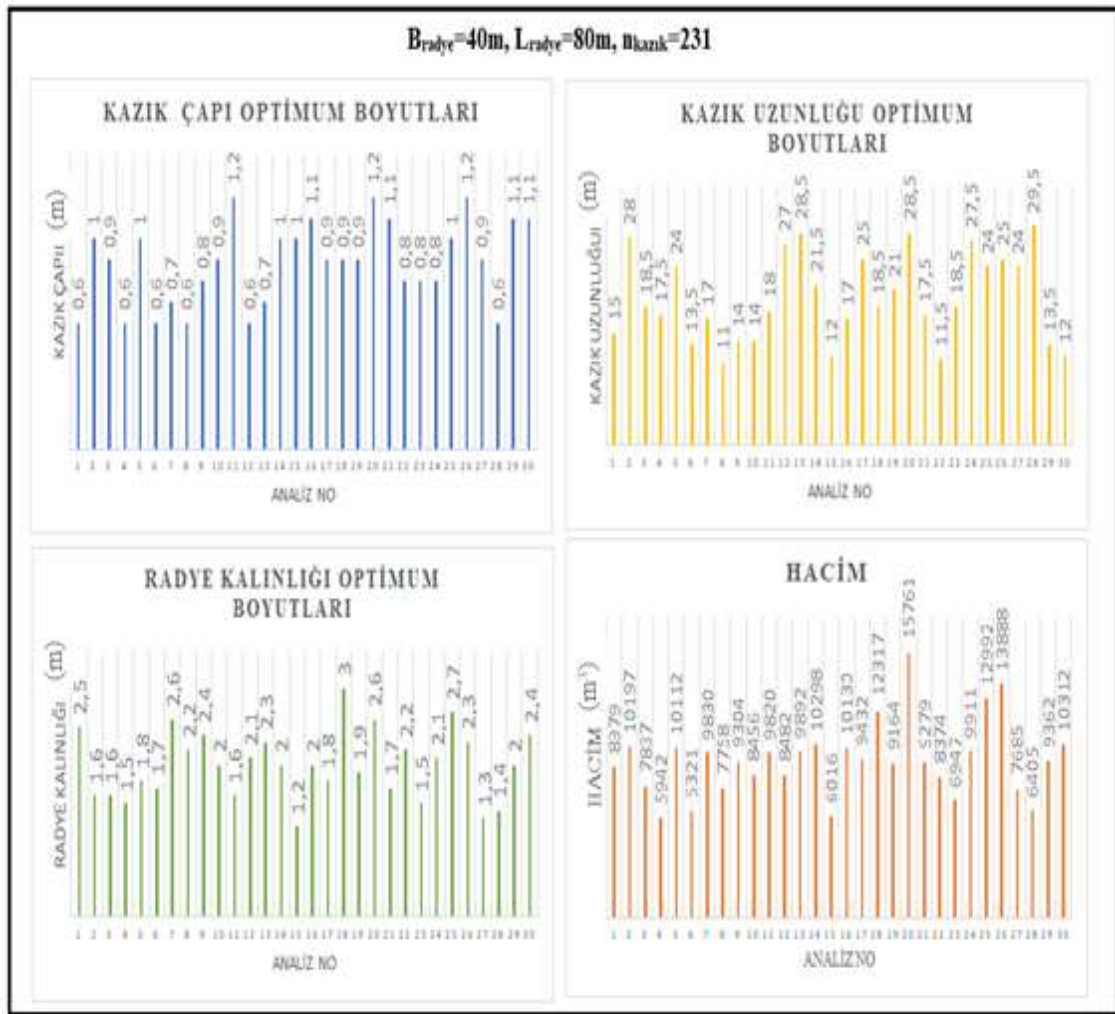
Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	40	80	0,6	15,0	2,5	8979
2	40	80	1,0	28,0	1,6	10197
3	40	80	0,9	18,5	1,6	7837
<b>4</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,6</b>	<b>17,5</b>	<b>1,5</b>	<b>5942</b>
5	40	80	1,0	24,0	1,8	10112
6	40	80	0,6	13,5	1,7	6321
7	40	80	0,7	17,0	2,6	9830
8	40	80	0,6	11,0	2,2	7758
9	40	80	0,8	14,0	2,4	9304
10	40	80	0,9	14,0	2,0	8456
11	40	80	1,2	18,0	1,6	9820
12	40	80	0,6	27,0	2,1	8482
13	40	80	0,7	28,5	2,3	9892
14	40	80	1,0	21,5	2,0	10298
15	40	80	1,0	12,0	1,2	6016
16	40	80	1,1	17,0	2,0	10130
17	40	80	0,9	25,0	1,8	9432
18	40	80	0,9	18,5	3,0	12317
19	40	80	0,9	21,0	1,9	9164
20	40	80	1,2	28,5	2,6	15761
21	40	80	1,1	17,5	1,7	9279
22	40	80	0,8	11,5	2,2	8374
23	40	80	0,8	18,5	1,5	6947
24	40	80	0,8	27,5	2,1	9911
25	40	80	1,0	24,0	2,7	12992
26	40	80	1,2	25,0	2,3	13888
27	40	80	0,9	24,0	1,3	7685
28	40	80	0,6	29,5	1,4	6405
29	40	80	1,1	13,5	2,0	9362
30	40	80	1,1	12,0	2,4	10312

Kazık sayısının tespit edilmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Randolph (1994) yaptığı çalışmalarda kazıklı radye temel tasarımını araştırmış ve kazık sayısı ile kazık yerleşim düzenini araştırmıştır. Kazık sayısının hem güvenli, hem ekonomik açıdan doğru seçilmesi ile birlikte, toplam oturmanın ve farklı oturmaların sınırlandırılabilmesi için kazık yerleşiminin de doğru tespitinin önemini vurgulamıştır. Merkezde oturmaların fazla olabileceği durumlarda, kazık sayısının artırılması gerektiğini de öne sürmüştür.



Mandolini vd., (2006) yaptıkları çalışmada, kazık sayısını arttırmanın genel anlamda fayda sağlayacağını düşünselerde, kazık sayısı için belirli bir üst limit olduğunu ve bu sayının tespit edilmesinin ardından, o sayıdan fazla kazık kullanımının fayda sağlamayacağını belirtmişlerdir.

Bu nedenle Bölüm 8'de yapılan optimizasyon analizlerinde, kazık sayısı arttırılması durumunda, sınırlayıcı fonksiyonlar dikkate alınarak elde edilen sonuçlarla, kazık sayısındaki artışın, beton hacmine olan etkisi incelenmiştir.



**Şekil 8.9.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=231$ )

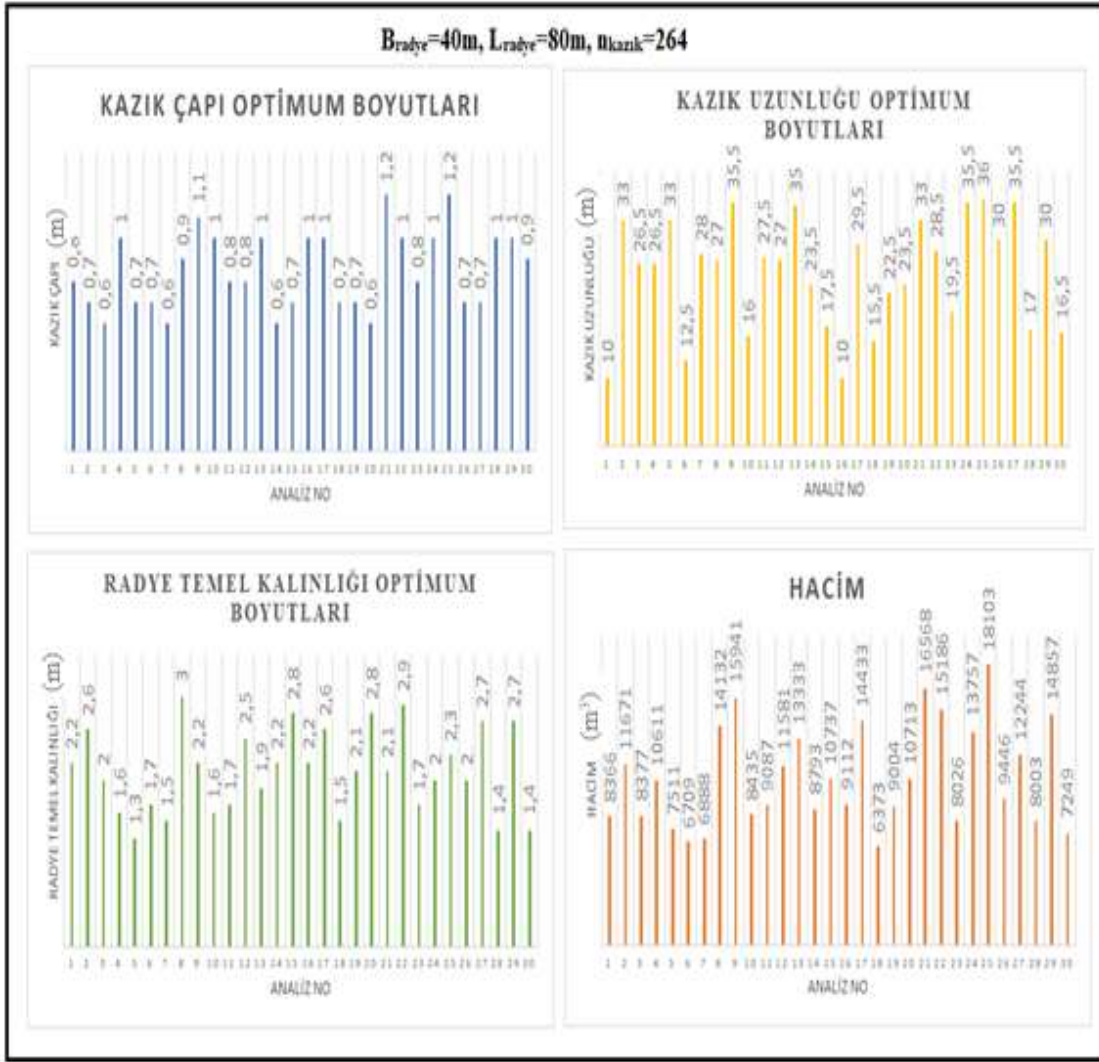
Çizelge 8.11 ve Şekil 8.9'da da görüldüğü üzere, en iyi 30 analiz sonucuna göre, optimum hacim değeri 4 numaralı analizde yer almaktadır ve bu değer  $5942 \text{ m}^3$  tür.

Analizlerde kullanılan ve birinci proje olan, çok katlı gerçek boyutlu projenin, radye boyutları  $B_{\text{radye}}=40$ ,  $L_{\text{radye}}=80$  ve kazık sayısı 264' tür. Gerçek boyutlu projenin, sınırlayıcı fonksiyonlar dikkate alınarak, yapay arı kolonisi algoritmasında (YAKA) optimizasyon analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 8.12'de sunulmuştur. Projenin gerçekte ki boyutları ise Çizelge 8.7' ye göre kazık çapı 0.8m, kazık uzunluğu 17 m, radye temel kalınlığı ise 2 m' dir.

Analizler sonucunda optimum kazık çapı Şekil 8.10' a göre; kazık çapı  $D_{\text{kazık}}=0.7\text{m}$ , optimum kazık uzunluğu  $L_{\text{kazık}}=15.5\text{m}$  ve optimum radye temel kalınlığı  $t_{\text{radye}}=1.5\text{m}$  olarak tespit edilmiştir.

**Çizelge 8.12.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	40	80	0,8	10,0	2,2	8366
2	40	80	0,7	33,0	2,6	11671
3	40	80	0,6	26,5	2,0	8377
4	40	80	1,0	26,5	1,6	10611
5	40	80	0,7	33,0	1,3	7511
6	40	80	0,7	12,5	1,7	6709
7	40	80	0,6	28,0	1,5	6888
8	40	80	0,9	27,0	3,0	14132
9	40	80	1,1	35,5	2,2	15941
10	40	80	1,0	16,0	1,6	8435
11	40	80	0,8	27,5	1,7	9087
12	40	80	0,8	27,0	2,5	11581
13	40	80	1,0	35,0	1,9	13333
14	40	80	0,6	23,5	2,2	8793
15	40	80	0,7	17,5	2,8	10737
16	40	80	1,0	10,0	2,2	9112
17	40	80	1,0	29,5	2,6	14433
<b>18</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,7</b>	<b>15,5</b>	<b>1,5</b>	<b>6373</b>
19	40	80	0,7	22,5	2,1	9004
20	40	80	0,6	23,5	2,8	10713
21	40	80	1,2	33,0	2,1	16568
22	40	80	1,0	28,5	2,9	15186
23	40	80	0,8	19,5	1,7	8026
24	40	80	1,0	35,5	2,0	13757
25	40	80	1,2	36,0	2,3	18103
26	40	80	0,7	30,0	2,0	9446
27	40	80	0,7	35,5	2,7	12244
28	40	80	1,0	17,0	1,4	8003
29	40	80	1,0	30,0	2,7	14857
30	40	80	0,9	16,5	1,4	7249



**Şekil 8.10.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{radye}=40m$ ,  $L_{radye}=80m$ ,  $n_{kazik}=264$ )

Gerçek boyutlu uygulama projesinin boyutları, analiz sonuçlarına göre seçilseydi, kazık çapında %12.5'lik bir ekonomiklik sağlanabileceği gibi, kazık uzunluğu 15.5m olarak boyutlandırılırsa, %9'luk bir ekonomi ve radye temel kalınlığı analiz sonucuna göre optimum boyut olan 1.5 m kullanılıyorsa, yaklaşık %25'lik bir ekonomi sağlanabilecekti. Ayrıca gerçek boyutlar amaç fonksiyonunda yerine yazılarak, projenin yaklaşık beton hacmi bulunabilir.

Denklem 8.1' de beton hacmi hesabını ifade eden amaç fonksiyonu yer almaktadır.

$$\text{Minimize } V(x) = \sum_{k=1}^{n_{kazik}} \frac{\pi \cdot D_{kazik}^2 \cdot L_{kazik}}{4} + B_{radye} \cdot L_{radye} \cdot t_{radye} \quad (8.1)$$

Burada;

$V(x)$ : Beton hacmi

$D_{kazik}$ : Kazık çapı

$L_{kazik}$ : Kazık boyu

$n_{kazik}$ : Kazık sayısı

$B_{radye}$ : Radyenin genişliği

$L_{radye}$ : Radyenin uzunluğu

$t_{radye}$ : Radyenin kalınlığı

Projenin gerçekteki tasarımında kullanılan parametreleri ise şu şekilde sıralanabilir;  $D_{kazik}=0.8m$ ,  $L_{kazik}=17 m$ ,  $n_{kazik}=264$ ,  $B_{radye}=40 m$ ,  $L_{radye}=80 m$  ve  $t_{radye}=2 m$  dir. Bu değerler amaç fonksiyonu Denklem 8.1' de yerine yazılırsa, beton hacmi  $V(x)=8654 m^3$  olarak hesaplanır.

Çizelge 8.12' ye göre optimum boyutlar ve hacim değeri 18 numaralı analizde görülmüştür ve optimum hacim değeri  $6373 m^3$  olarak belirlenmiştir. Bu değer projenin gerçek boyutlarına göre elde edilen beton hacmi ile yüzdesel olarak karşılaştırılırsa; yaklaşık %27'lik bir değere tekabül etmektedir. Bu değerde şu anlama gelmektedir ki; eğer analizler sonucunda elde edilen optimum boyutlar kullanılsaydı, çok katlı konut projesinde, beton hacminden %27' lik bir ekonomi sağlanabilecekti.

Optimum boyutlar kullanılması durumunda ortaya çıkan bu %27'lik ekonomiklik, optimizasyonun ve bu gibi analizlerin önemini destekler niteliktedir. Bu nedenle, halen karmaşıklığını koruyan, yeterli sayıda üzerine çalışma olmadığı düşünülen ve araştırmaya çok açık bir konu olan “Kazıklı Radye Temel Sistemlerinin” bu alanda, optimizasyon yöntemi ile araştırılması gerektiği gözlemlenmiştir.

Bir sonraki analizde ise YAKA'da kazık sayısının gerçek değerinde üzerinde kullanılması durumunda, elde edilecek optimum boyutlar araştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 8.13 ve Şekil 8.11' de sunulmuştur.

**Çizelge 8.13.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=299$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	40	80	0,6	16,0	2,0	7751
2	40	80	1,1	15,5	1,3	8562
3	40	80	0,6	32,5	2,7	11386
<b>4</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,7</b>	<b>24,5</b>	<b>1,5</b>	<b>7617</b>
5	40	80	0,6	36,0	2,7	11681
6	40	80	0,9	38,5	2,6	15639
7	40	80	0,8	19,5	1,7	8369
8	40	80	0,9	10,5	2,2	9036
9	40	80	0,8	17,0	2,7	11193
10	40	80	0,6	13,5	2,6	9460
11	40	80	0,6	35,5	1,6	8119
12	40	80	0,6	38,5	2,7	11893
13	40	80	0,8	21,0	1,4	7634
14	40	80	0,6	28,5	2,1	9128
15	40	80	0,9	32,0	1,7	11523
16	40	80	0,7	19,0	2,7	10825
17	40	80	0,9	34,0	1,6	11584
18	40	80	0,8	24,5	1,9	9760
19	40	80	0,7	40,0	1,6	9720
20	40	80	0,7	14,5	2,7	10307
21	40	80	0,8	28,0	2,7	12846
22	40	80	0,8	31,0	2,2	11696
23	40	80	1,0	20,0	1,4	9174
24	40	80	1,2	18,5	1,7	11692
25	40	80	1,0	10,0	2,2	9112
26	40	80	0,7	23,0	2,2	9685
27	40	80	1,0	31,5	2,4	15073
28	40	80	1,0	20,0	1,4	9174
29	40	80	0,7	16,0	3,0	11440
30	40	80	0,8	37,0	1,5	10358

Projenin analizler sonucunda elde edilen optimum boyutları 4 numaralı analizde yer almaktadır. Optimum kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 24.5m ve radye temel kalınlığı 1.5m olarak bulunmuştur. Boyutlar amaç fonksiyonunda yazılırsa, optimum hacim değeri 7617  $\text{m}^3$  tür. Optimum boyutlar ve hacim değeri Şekil 8.11' de grafiksel olarak gösterilmiştir.



**Şekil 8.11.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=299$ )

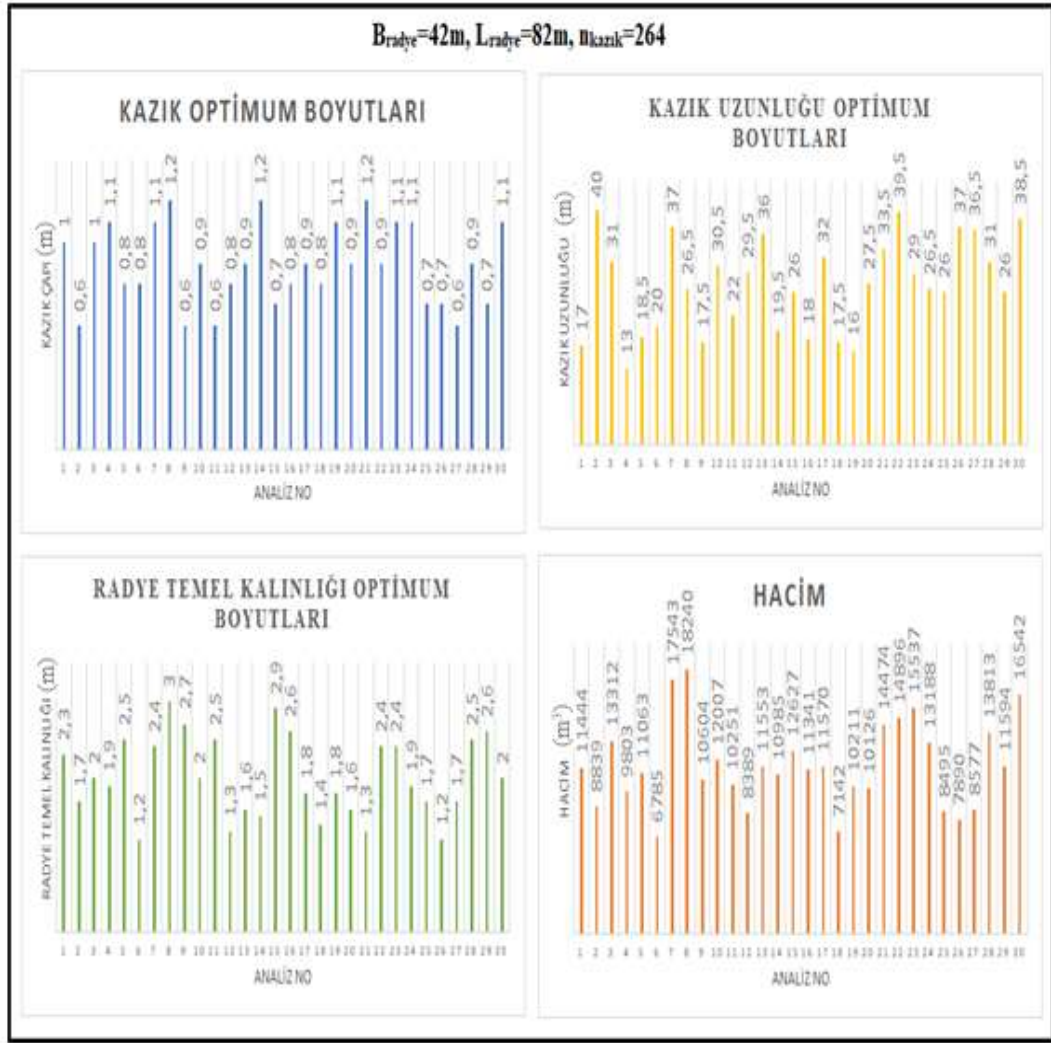
Kazık sayısının artırılması veya azaltılması ile ilgili benzer çalışmalar önceki yıllarda da yapılmıştır. Örneğin, Alver ve Özden (2014) yaptıkları çalışmada, kazıklı radye temellerin kazık sayısı değişimini hem optimizasyon teknikleri ile hemde sonlu elemanlar yöntemi tabanlı çalışan yazılımlar ile araştırmışlardır. Kazık sayısı artışının, belirli bir noktadan sonra oturma miktarında önemli bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Bu durumun esas nedeninin ise kazık-zemin-kazık etkileşimi olduğu vurgulanmıştır. Çünkü kazık sayısı arttıkça, kazık aralığı azalmakta ve kazık-kazık etkileşimi arttığı içinde, kazık sayısı artışının, oturmayı önleyici etkisi ortadan kalkmaktadır. Bu nedenle kazıklı radye temel tasarımında, şartları sağlayan optimum kazık sayısının tespit edilmesi projelendirme aşamasında dikkate değer bir durumdur.

İkinci aşamada ise radye temel boyutlarının değiştirilmesi durumunda, kazık sayısı sabit iken hacim miktarındaki değişim ve optimizasyon analizleri YAKA ile analiz edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre kazık çapı, uzunluğu, radye kalınlığı ve hacim grafikleri çizilmiştir.

Çizelge 8.14'te en iyi 30 analiz sonucu yer almaktadır. Optimum hacim değeri 6 numaralı analizde görülmektedir. Optimum hacim değeri ise; 6785 m<sup>3</sup> tür. Optimum kazık ve radye boyutları ise, kazık çapı  $D_{kazık}=0.8$  m,  $L_{kazık}=20$  m,  $t_{radye}=1.2$  m olarak tespit edilmiştir. Optimizasyon işlemleri sonucunda elde edilen boyutlar Şekil 8.12'de gösterilmiştir.

**Çizelge 8.14.** Radye boyutlarının  $B_{radye}=42$ m,  $L_{radye}=82$ m ve kazık sayısının  $n_{kazık}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim (m <sup>3</sup> )
	$B_{radye}$ (m)	$L_{radye}$ (m)	$D_{kazık}$ (m)	$L_{kazık}$ (m)	$t_{radye}$ (m)	
1	42	82	1,0	17,0	2,3	11444
2	42	82	0,6	40,0	1,7	8839
3	42	82	1,0	31,0	2,0	13312
4	42	82	1,1	13,0	1,9	9803
5	42	82	0,8	18,5	2,5	11063
<b>6</b>	<b>42</b>	<b>82</b>	<b>0,8</b>	<b>20,0</b>	<b>1,2</b>	<b>6785</b>
7	42	82	1,1	37,0	2,4	17543
8	42	82	1,2	26,5	3,0	18240
9	42	82	0,6	17,5	2,7	10604
10	42	82	0,9	30,5	2,0	12007
11	42	82	0,6	22,0	2,5	10251
12	42	82	0,8	29,5	1,3	8389
13	42	82	0,9	36,0	1,6	11553
14	42	82	1,2	19,5	1,5	10985
15	42	82	0,7	26,0	2,9	12627
16	42	82	0,8	18,0	2,6	11341
17	42	82	0,9	32,0	1,8	11570
18	42	82	0,8	17,5	1,4	7142
19	42	82	1,1	16,0	1,8	10211
20	42	82	0,9	27,5	1,6	10126
21	42	82	1,2	33,5	1,3	14474
22	42	82	0,9	39,5	2,4	14896
23	42	82	1,1	29,0	2,4	15537
24	42	82	1,1	26,5	1,9	13188
25	42	82	0,7	26,0	1,7	8495
26	42	82	0,7	37,0	1,2	7890
27	42	82	0,6	36,5	1,7	8577
28	42	82	0,9	31,0	2,5	13813
29	42	82	0,7	26,0	2,6	11594
30	42	82	1,1	38,5	2,0	16542



**Şekil 8.12.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=42\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=82\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

Birinci projenin gerçek boyutlarına göre  $B_{\text{radye}}=40\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{ m}$  ve kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}=264$  tür. Çizelge 8.12'ye göre optimum hacim değeri  $6373\text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Çizelge 8.14'te yer alan değerlere göre ise optimum hacim değeri  $6785$ 'tir. Radye temel alanı yaklaşık %8 arttırılmıştır. Buna göre optimum hacim değerleri karşılaştırılırsa, radye boyutlarının artması durumunda optimum hacim değerinde de yaklaşık %7'lik bir artış meydana gelmiştir. Denklem 8.1'de radye temel boyutlarının boyutlarının  $B_{\text{radye}}=42\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=82\text{ m}$  seçilmesi ile beton hacmi hesaplanırsa  $9144\text{ m}^3$  tür. Buna göre elde edilen sonuç ile optimum hacim değeri kıyaslanırsa, yaklaşık %26'lık bir ekonomi sağlandığı görülmektedir.

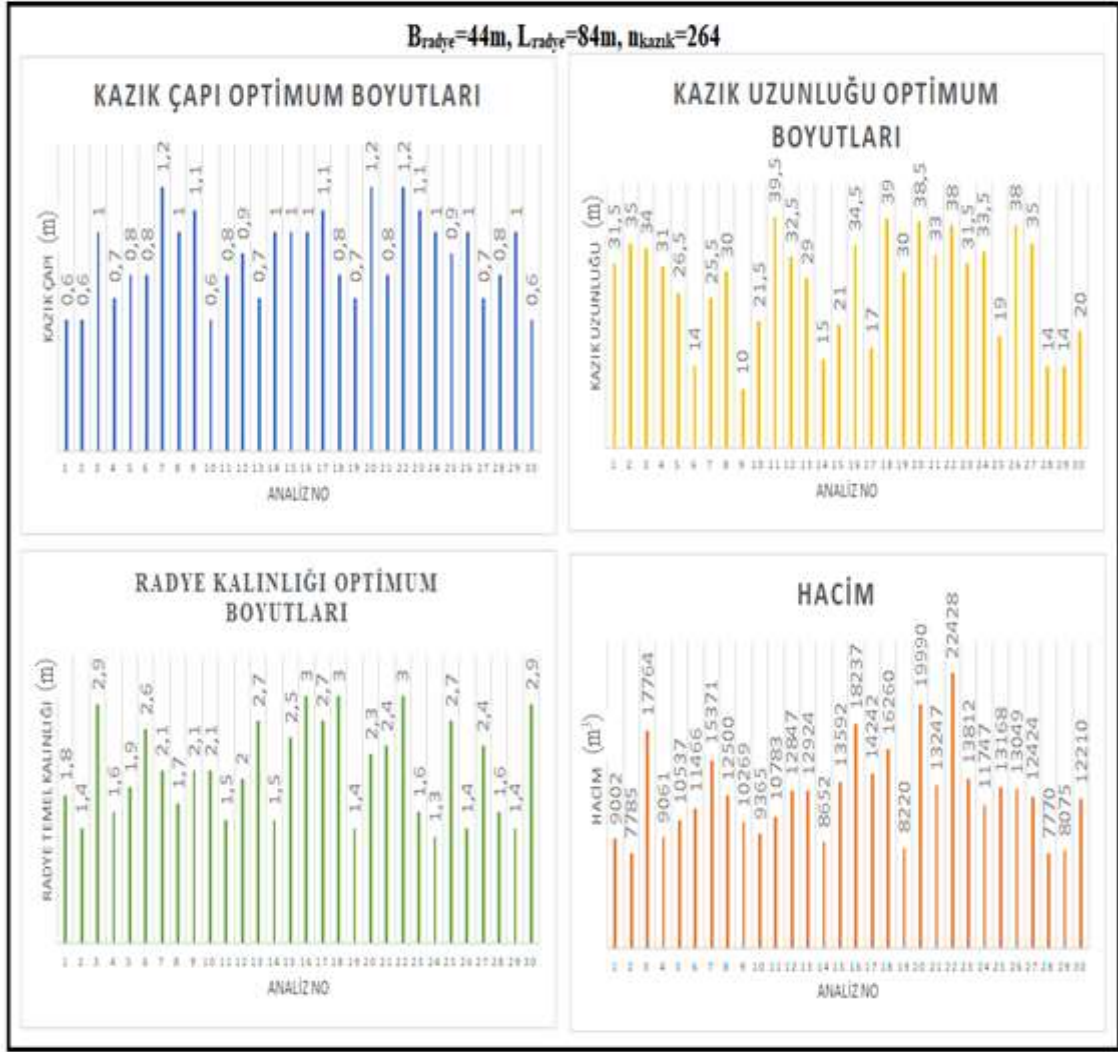


Radye boyutlarının arttırılması ile ilgili benzer şekilde, Ateş (2019) hazırladığı tez çalışmasında radye boyutlarını değiştirerek, kazıklar arası mesafenin kazıklı radye temel optimizasyonuna etkisini hem deneysel, hemde nümerik olarak araştırmıştır. Boyutların arttırılması ile birlikte oturma davranışı gözlemlenirken, beton hacminde ki artışta gözlemlenmiş ve yorumlanmıştır.

Çizelge 8.15'te radye temel boyutlarının  $B_{\text{radye}}=44$  m,  $L_{\text{radye}}=84$  m olması durumunda elde edilen optimum boyutlar ve hacim değerleri verilmiştir. Radye temel alanı %15.5 arttırılmıştır. Optimum hacim değeri kazık çapının 0.8 m, kazık uzunluğu 14.0 m ve radye temel kalınlığı 1.6 m olduğu 28 numaralı analizlerde gözlemlenmiştir ve optimum hacim değeri radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=44$  m,  $L_{\text{radye}}=84$  m olması durumunda  $7770 \text{ m}^3$  tür.

**Çizelge 8.15.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=44\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=84\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	44	84	0,6	31,5	1,8	9002
2	44	84	0,6	35,0	1,4	7785
3	44	84	1,0	34,0	2,9	17764
4	44	84	0,7	31,0	1,6	9061
5	44	84	0,8	26,5	1,9	10537
6	44	84	0,8	14,0	2,6	11466
7	44	84	1,2	25,5	2,1	15371
8	44	84	1,0	30,0	1,7	12500
9	44	84	1,1	10,0	2,1	10269
10	44	84	0,6	21,5	2,1	9365
11	44	84	0,8	39,5	1,5	10783
12	44	84	0,9	32,5	2,0	12847
13	44	84	0,7	29,0	2,7	12924
14	44	84	1,0	15,0	1,5	8652
15	44	84	1,0	21,0	2,5	13592
16	44	84	1,0	34,5	3,0	18237
17	44	84	1,1	17,0	2,7	14242
18	44	84	0,8	39,0	3,0	16260
19	44	84	0,7	30,0	1,4	8220
20	44	84	1,2	38,5	2,3	19990
21	44	84	0,8	33,0	2,4	13247
22	44	84	1,2	38,0	3,0	22428
23	44	84	1,1	31,5	1,6	13812
24	44	84	1,0	33,5	1,3	11747
25	44	84	0,9	19,0	2,7	13168
26	44	84	1,0	38,0	1,4	13049
27	44	84	0,7	35,0	2,4	12424
<b>28</b>	<b>44</b>	<b>84</b>	<b>0,8</b>	<b>14,0</b>	<b>1,6</b>	<b>7770</b>
29	44	84	1,0	14,0	1,4	8075
30	44	84	0,6	20,0	2,9	12210



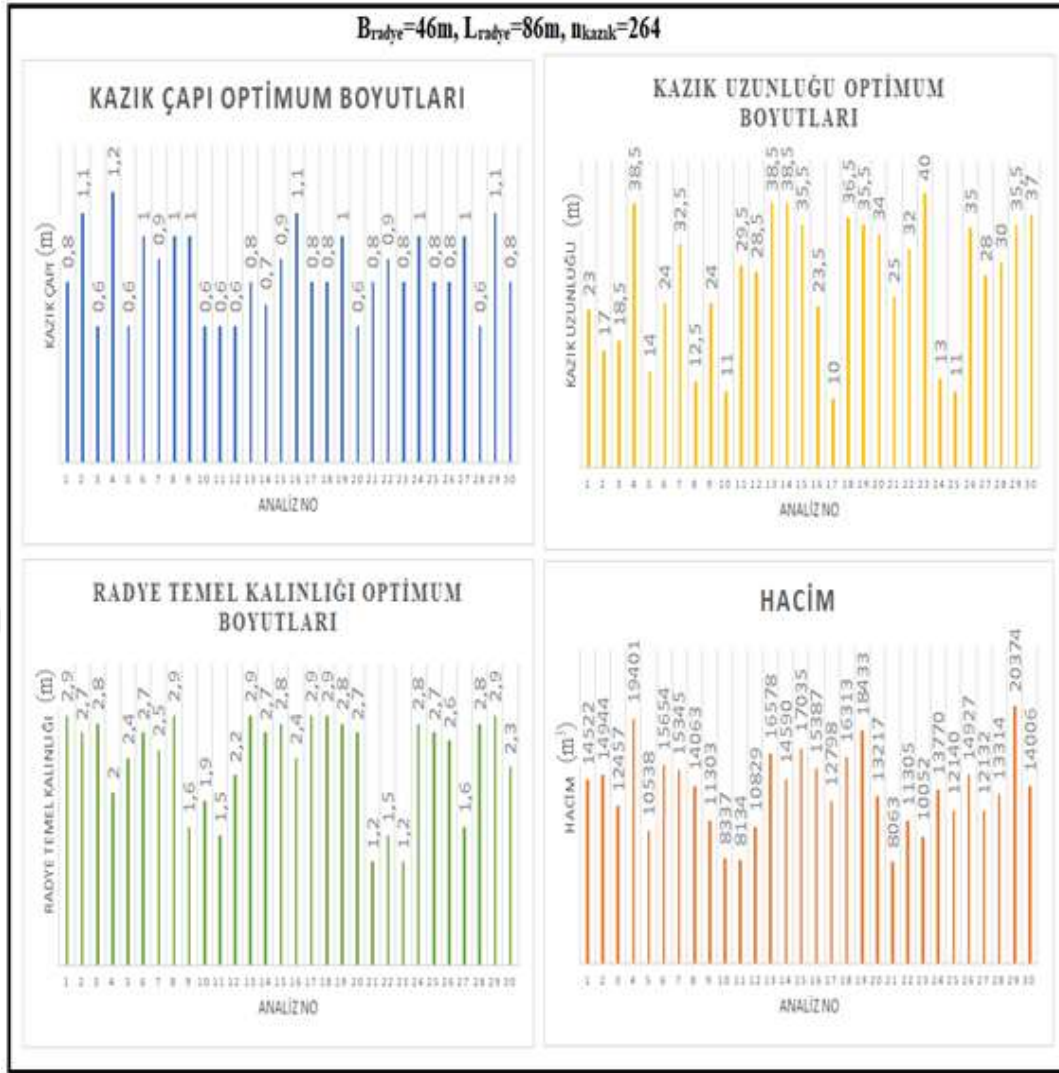
Şekil 8.13. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=44\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=84\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

Şekil 8.13’de optimizasyon analizleri sonucunda elde edilen optimum kazıklı radye temel boyutları ve hacim değerleri yer almaktadır. Analizler sonucunda elde edilen optimum hacim değerleri karşılaştırılırsa, Şekil 8.10’ da da gösterilen, projenin gerçek boyutlu analizlerindeki optimum hacim değeri Çizelge 8.12’ ye göre  $6373 \text{ m}^3$  tür ve buna göre radye temel alanının arttırılması durumunda optimum hacim değerinde %22’ lik bir artış meydana gelmiştir. Seçilen radye boyutları Denklem 8.1’de gerçek boyutlu projenin diğer parametreleri sabit tutulup  $B_{\text{radye}}=44 \text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=84 \text{ m}$  olarak seçilirse kullanılan beton hacmi  $9648 \text{ m}^3$  olarak hesaplanır. Buna göre Çizelge 8.15’te yer alan optimum hacim değeri ile kıyaslanırsa, optimizasyon analizleri ile yaklaşık olarak %19.5’lik bir ekonomiklik gözlenmektedir.

Çizelge 8.16' da radye temel boyutlarının aynı şekilde arttırılması ile elde edilen analiz sonuçları sunulmuştur.  $B_{\text{radye}}=46$  m,  $L_{\text{radye}}=86$  m ve kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}=264$  iken sonuçlar en iyi olduğu düşünülen 30 analiz sonucu ile ifade edilmiştir. Radye temel alanı yaklaşık olarak yüzde %24 arttırılmıştır. Optimum boyutlar Çizelge 8.16' ya göre 21 numaralı analiz sonucunda gözlemlenmiştir. Kazık özellikleri ise, kazık çapı optimum 0.8 m, kazık uzunluğu 25.0 m' dir. Analizler sonucunda optimum radye temel kalınlığı ise 1.2 m olarak elde edilmiştir. Şekil 8.14'de de görüleceği üzere optimum hacim değeri ise 8063 m<sup>3</sup> tür. Analizlerde gerçek proje boyutlarının kullanılmasında elde edilen optimum hacim değerine göre, radyenin boyutlarının bu artışında, hacim değerinde yaklaşık %27 'lik bir artış olmuştur. Denklem 8.1' e göre projenin beton hacmi seçilen radye boyutlarında ( $B_{\text{radye}}=46$  m,  $L_{\text{radye}}=86$  m) hesaplanırsa, beton hacminde yaklaşık olarak %21'lik bir azalış tespit edilmektedir.

**Çizelge 8.16.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=46$ m,  $L_{\text{radye}}=86$ m ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim (m <sup>3</sup> )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	46	86	0,8	23,0	2,9	14522
2	46	86	1,1	17,0	2,7	14944
3	46	86	0,6	18,5	2,8	12457
4	46	86	1,2	38,5	2,0	19401
5	46	86	0,6	14,0	2,4	10538
6	46	86	1,0	24,0	2,7	15654
7	46	86	0,9	32,5	2,5	15345
8	46	86	0,7	12,5	2,9	12741
9	46	86	1,0	24,0	1,6	11303
10	46	86	0,6	11,0	1,9	8337
11	46	86	0,6	29,5	1,5	8134
12	46	86	0,6	28,5	2,2	10829
13	46	86	0,8	38,5	2,9	16578
14	46	86	0,7	38,5	2,7	14590
15	46	86	0,9	35,5	2,8	17035
16	46	86	1,1	23,5	2,4	15387
17	46	86	0,8	10,0	2,9	12798
18	46	86	0,8	36,5	2,9	16313
19	46	86	1,0	35,5	2,8	18433
20	46	86	0,6	34,0	2,7	13217
<b>21</b>	<b>46</b>	<b>86</b>	<b>0,8</b>	<b>25,0</b>	<b>1,2</b>	<b>8063</b>
22	46	86	0,9	32,0	1,5	11305
23	46	86	0,8	40,0	1,2	10052
24	46	86	1,0	13,0	2,8	13770
25	46	86	0,8	11,0	2,7	12140
26	46	86	0,8	35,0	2,6	14927
27	46	86	1,0	28,0	1,6	12132
28	46	86	0,6	30,0	2,8	13314
29	46	86	1,1	35,5	2,9	20374
30	46	86	0,8	37,0	2,3	14006



Şekil 8.14. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=86\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

Radye boyutlarının değişiminin optimum boyutlandırmaya etkisini araştırmak amacı ile yapılan en son analiz boyutu da  $B_{\text{radye}}=48\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=88\text{ m}$  ' dir. Bu boyutlara göre gerçek radye temel sistemine göre radye temel alanı %32 arttırılmış ve optimizasyon analizleri yapılmıştır. Optimum boyutlar ve hacim değeri Çizelge 8.17' de yer almaktadır ve elde edilen optimum değerler Şekil 8.15' de grafiksel olarak tanımlanmıştır.

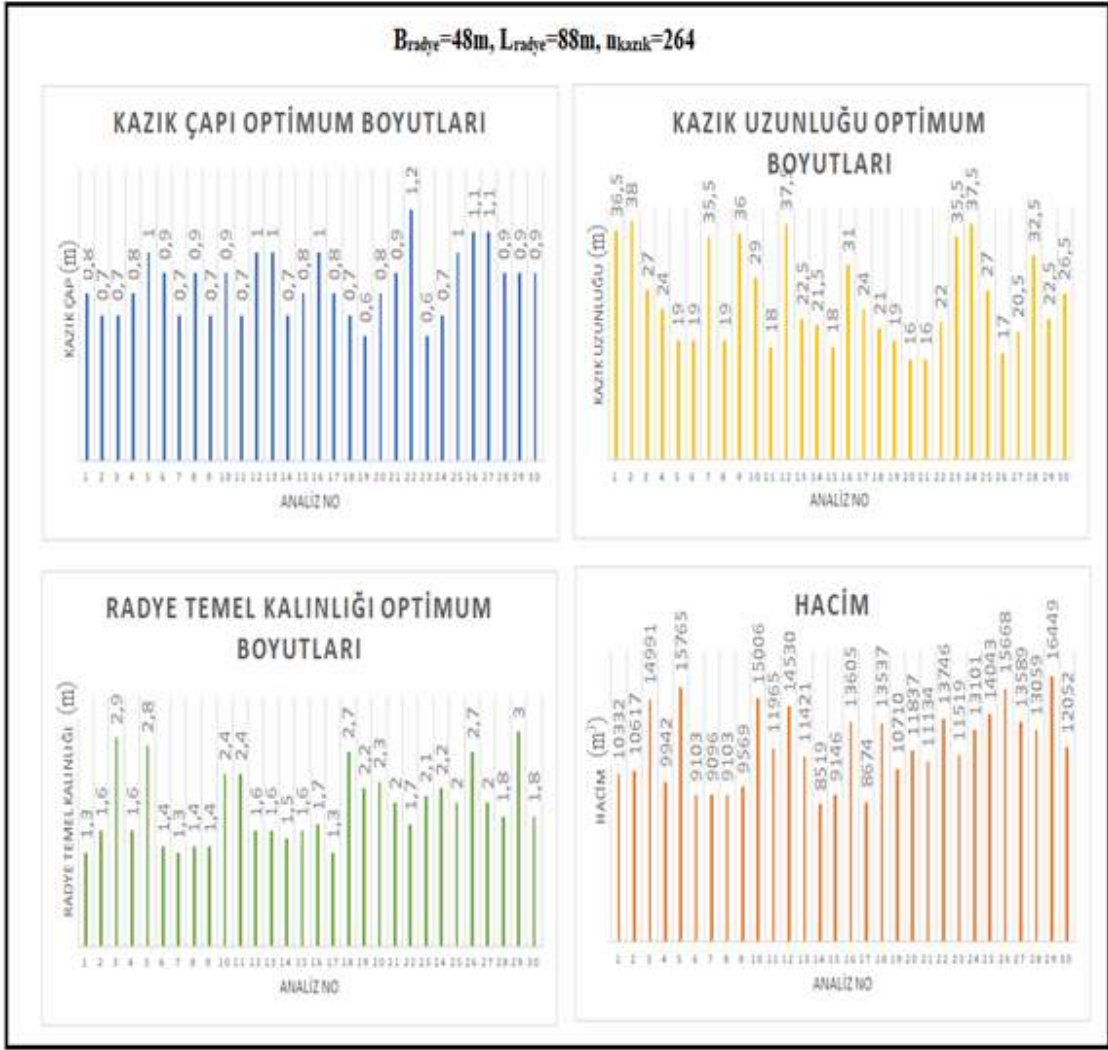
Optimum boyutlar 14 numaralı analizde elde edilen değerlerdir. Kazık çapı 0.7m, 21.5m ve radye kalınlığı 1.5m olarak bulunmuştur. Bu değerler amaç fonksiyonu olan Denklem 8.1' de yerine yazılırsa, optimum hacim değeri 8519 m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

Optimizasyon sonucunda elde edilen optimum hacim değerleri karşılaştırılırsa, radye boyutunda ki bu artış,  $B_{\text{radye}}=40$  m,  $L_{\text{radye}}=80$  m olan ilk durumdaki optimum hacim değerine göre yaklaşık %34' lük bir beton hacminde artışa neden olmuştur.

Denklem 8.1'de yer alan amaç fonksiyonuna göre, gerçek boyutlu projede radye temel boyutları  $B_{\text{radye}}=48$  m,  $L_{\text{radye}}=88$  m olarak seçilseydi, kullanılan beton hacmi yaklaşık olarak  $10704 \text{ m}^3$  olarak belirlenirdi. Bu durumda Çizelge 8.17'de yer alan ve analizler sonucu elde edilen optimum hacim değeri ile kıyaslanırsa, optimum boyutlar ile yaklaşık olarak %20.5'lik bir ekonomiklik söz konusudur.

**Çizelge 8.17.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=48\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=88\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	48	88	0,8	36,5	1,3	10332
2	48	88	0,7	38,0	1,6	10617
3	48	88	0,7	27,0	2,9	14991
4	48	88	0,8	24,0	1,6	9942
5	48	88	1,0	19,0	2,8	15765
6	48	88	0,9	19,0	1,4	9103
7	48	88	0,7	35,5	1,3	9096
8	48	88	0,9	19,0	1,4	9103
9	48	88	0,7	36,0	1,4	9569
10	48	88	0,9	29,0	2,4	15006
11	48	88	0,7	18,0	2,4	11965
12	48	88	1,0	37,5	1,6	14530
13	48	88	1,0	22,5	1,6	11421
<b>14</b>	<b>48</b>	<b>88</b>	<b>0,7</b>	<b>21,5</b>	<b>1,5</b>	<b>8519</b>
15	48	88	0,8	18,0	1,6	9146
16	48	88	1,0	31,0	1,7	13605
17	48	88	0,8	24,0	1,3	8674
18	48	88	0,7	21,0	2,7	13537
19	48	88	0,6	19,0	2,2	10710
20	48	88	0,8	16,0	2,3	11837
21	48	88	0,9	16,0	2,0	11134
22	48	88	1,2	22,0	1,7	13746
23	48	88	0,6	35,5	2,1	11519
24	48	88	0,7	37,5	2,2	13101
25	48	88	1,0	27,0	2,0	14043
26	48	88	1,1	17,0	2,7	15668
27	48	88	1,1	20,5	2,0	13589
28	48	88	0,9	32,5	1,8	13059
29	48	88	0,9	22,5	3,0	16449
30	48	88	0,9	26,5	1,8	12052



Şekil 8.15. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=48\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=88\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

### 8.7.2. Gerçek boyutlu ikinci projenin YAKA ile optimizasyonu

Optimum boyutları araştırılan ikinci proje, yapımı tamamlanan, gerçek boyutlu ve çok katlı bir kompleks konut projesidir. Projenin zemin etüd raporu ve tasarım boyutları dikkate alınarak, optimizasyon analizlerinde kullanılan parametreler, Çizelge 8.18’de yer almaktadır. Ayrıca kazık ve radyenin genel özellikleri Çizelge 8.19’ da sunulmuştur ve genel görüntüsü Şekil 8.16’da gösterilmiştir. Bu değerler, optimizasyon analizlerinde optimum boyut ve hacim değerlerinin bulunması amacı ile kullanılmıştır.

**Çizelge 8.18.** İkinci projenin kazıklı radye temel hesap modelinin genel parametreleri

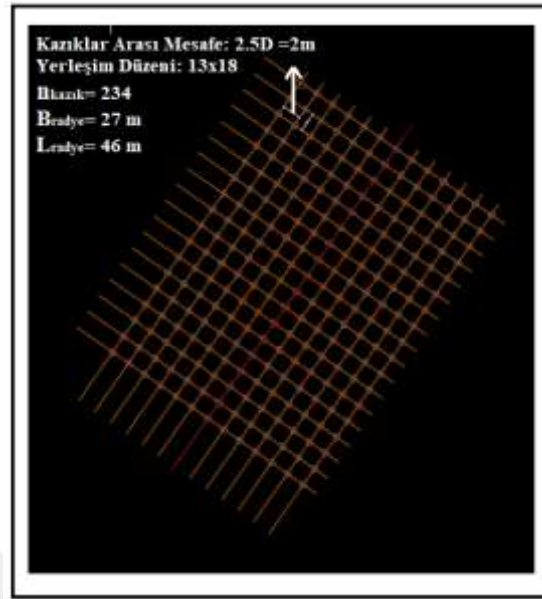
Parametreler	Değer
Tekil kazığın taşıma kapasitesi ( $Q_F$ )	4270 kN
Radye temelin enine boyutu ( $B_{\text{radye}}$ )	27 m
Radyenin boyuna boyutu ( $L_{\text{radye}}$ )	46 m
Radyenin kalınlığı ( $t_{\text{radye}}$ )	2.5m
Kazık sayısı ( $n_{\text{kazık}}$ )	234
Radyeye gelen üniform gerilme	376 kPa
Zeminin Poisson oranı ( $\nu$ )	0,2
Kazıklar arası mesafe	2 m
Kazık uzunluğu ( $L_{\text{kazık}}$ )	32 m
Kazık çapı ( $D_{\text{kazık}}$ )	0.8m
Kazık taban çapı	0.8m
Zemin Elastisite modülü	37000 kPa

**Çizelge 8.19.** Kazık ve radye özellikleri

Parametreler	Değer
Kazığın Elastisite modülü, $E_{\text{kazık}}$	32000 MPa
Radyenin Elastisite modülü, $E_{\text{radye}}$	33000 MPa
Kazığın Poisson oranı $\nu_{\text{kazık}}$	0.2
Radyenin Poisson oranı, $\nu_{\text{radye}}$	0.2
Kazık yerleşim düzeni	13x18

Çizelge 8.18' e göre, projede kullanılan kazık çapı  $\phi 80$  ve kazık boyu ise 32 m seçilmiştir. Kazık taban çapı değişmemiş ve  $\phi 80$  olarak tasarlanmıştır. Kazıklar arası mesafe  $2.5D_{\text{kazık}}$  olarak belirlenmiştir. Bu nedenle kazıklar arası mesafe 2 m'dir. Çizelge 8.19'da ise kazık ve radyenin genel malzeme özellikleri ifade edilmiştir. İdealize edilmiş zemin profilindeki tabakalar ise; "Dolgu malzemesi, Çakıllı Killi Kum/Killi Kumlu Çakıl/Kumlu Kil, Rezidüel Grovak/Şist" şeklinde sıralanabilir. Dolgu malzemesi yüzeyden itibaren yaklaşık 0.5-5m arasında değişen derinliklerde gözlemlenmiştir. Dolgu malzemesi çakıl formlarındadır ve heterojen bir yapıdadır. Çakıllı Killi Kum/Killi Kumlu Çakıl/Kumlu Kil tabakası yaklaşık olarak 1.5-10.5m arasında Rezidüel tabakaya kadar yer almaktadır. Zemin tabakaları içerisinde bulunan çakıl, yapı itibariyle Grovak-Şist kökenlidir. Kazık yerleşim düzeni ise 13x18 olarak tasarlanmıştır ve toplam kazık sayısı 234'tür. Kazık yerleşim düzeni ve radye temelin genel görünümü Şekil 8.16'da gösterilmiştir. Sınırlayıcı fonksiyonlara, ilgili parametreler tanımlanmış ve metasezgisel algoritmalar kullanılarak, tasarım değişkenleri olan kazık çapı, kazık uzunluğu ve radye kalınlığının optimum değerleri tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, projenin optimum hacim değerleri hesaplanmış ve gerçek boyutlu proje hacim değeri ile karşılaştırılmıştır. Analizlerin ilk aşamasında birinci projede de uygulandığı gibi kazık sayısı ve yerleşim düzeni değiştirilerek analizler yapılmış ve optimum hacim değerleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise kazık sayısı ve yerleşim düzeni sabit tutularak, radye boyutları

değiştirilmiş ve radye boyutları değişiminin, optimum hacim değeri analizlerine olan etkisi araştırılmıştır.



Şekil 8.16. Projenin kazık yerleşim düzeni

İki farklı durum değerlendirilerek gerçekleştirilen analizlerde, kazık sayısı değişiminde, sırası ile kazık sayısı; 176, 204, 234 ve 266 olarak seçilmiştir. Radye boyutlarının değişiminde ise;  $B_{\text{radye}}=27$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m;  $B_{\text{radye}}=29$  m,  $L_{\text{radye}}=48$  m;  $B_{\text{radye}}=31$  m,  $L_{\text{radye}}=50$  m,  $B_{\text{radye}}=33$  m,  $L_{\text{radye}}=52$  m olarak radye boyutları belirlenmiştir. Yapılan analiz işlemleri sonucunda en iyi çözüm olduğu düşünülen 30 analiz sonucu verilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen optimum boyutlu kazıklı radye temel tasarımlarının, temel sistemindeki kazık yerleşim düzeni EK-3’de sunulmuştur.

Analizlerde kullanılan tasarım değişkenlerinin, artım miktarı Çizelge 8.20’ de tanımlanmıştır. Kazık çapı 0.1, kazık uzunluğu 0.5, radye temel kalınlığı ise 0.1 artım miktarı ile optimum boyutlandırılmıştır.

Çizelge 8.20. İkinci projenin tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri ile artım miktarı

Tasarım değişkenleri	Alt sınır	Üst sınır	Artım miktarı
Kazık çapı (m), $D_{\text{kazık}}$	0.6	0.8	0.1
Kazık uzunluğu (m), $L_{\text{kazık}}$	10	40	0.5
Radye temel kalınlığı (m), $t_{\text{radye}}$	1.2	3	0.1



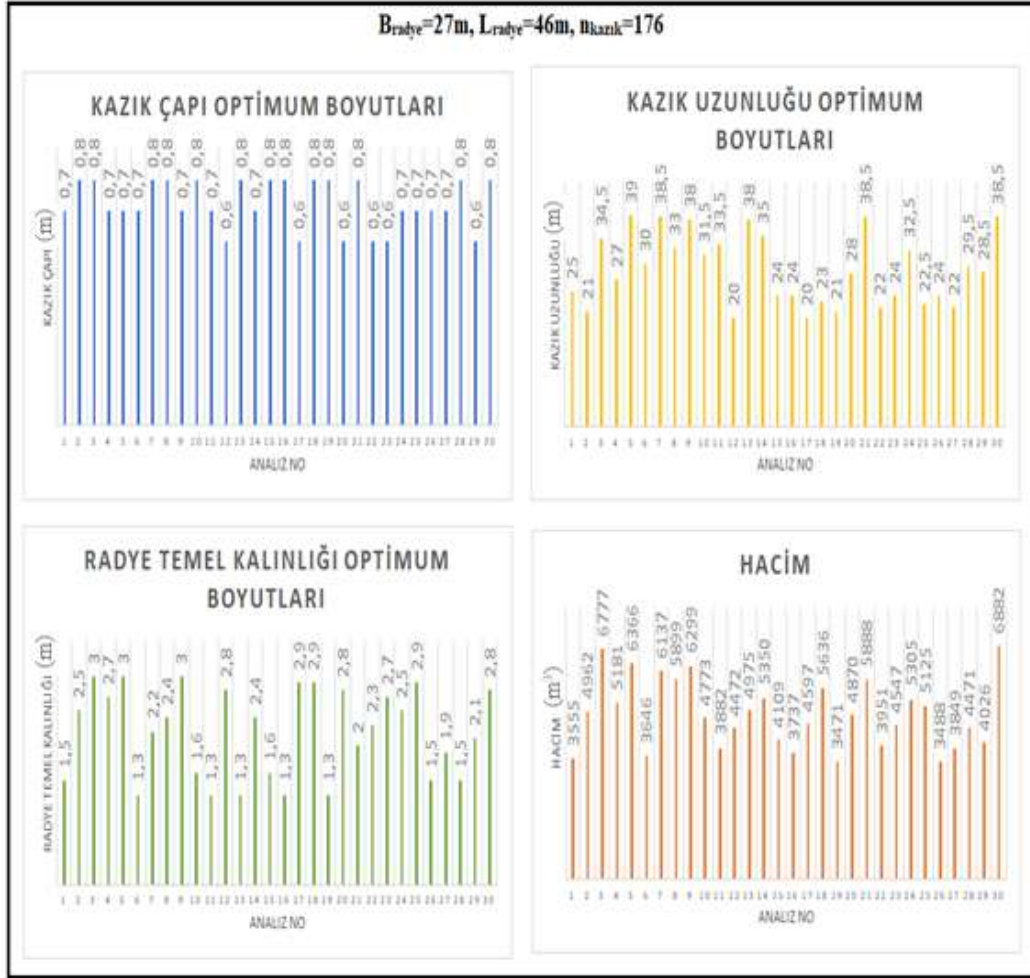
**Çizelge 8.21.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=176$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	27	46	0,7	25,0	1,5	3555
2	27	46	0,8	21,0	2,5	4962
3	27	46	0,8	34,5	3,0	6777
4	27	46	0,7	27,0	2,7	5181
5	27	46	0,7	39,0	3,0	6366
6	27	46	0,7	30,0	1,3	3646
7	27	46	0,8	38,5	2,2	6137
8	27	46	0,8	33,0	2,4	5899
9	27	46	0,7	38,0	3,0	6299
10	27	46	0,8	31,5	1,6	4773
11	27	46	0,7	33,5	1,3	3882
12	27	46	0,6	20,0	2,8	4472
13	27	46	0,8	38,0	1,3	4975
14	27	46	0,7	35,0	2,4	5350
15	27	46	0,8	24,0	1,6	4109
16	27	46	0,8	24,0	1,3	3737
17	27	46	0,6	20,0	2,9	4597
18	27	46	0,8	23,0	2,9	5636
<b>19</b>	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>21,0</b>	<b>1,3</b>	<b>3471</b>
20	27	46	0,6	28,0	2,8	4870
21	27	46	0,8	38,5	2,0	5888
22	27	46	0,6	22,0	2,3	3951
23	27	46	0,6	24,0	2,7	4547
24	27	46	0,7	32,5	2,5	5305
25	27	46	0,7	22,5	2,9	5125
26	27	46	0,7	24,0	1,5	3488
27	27	46	0,7	22,0	1,9	3849
28	27	46	0,8	29,5	1,5	4471
29	27	46	0,6	28,5	2,1	4026
30	27	46	0,8	38,5	2,8	6882

Çizelge 8.21’ de radye boyutlarının gerçek proje boyutu ile aynı olmasına rağmen, kazık sayısının azaltılması durumunda elde edilen optimum boyut değerleri tespit edilmiştir. Bulunan optimum hacim değeri ile gerçek boyutlu durumdaki hacim değeri, karşılaştırılarak, kazık sayısının azaltılması durumunda ki hacim değişimi araştırılmıştır.

Optimum boyutlar; kazık çapı  $D_{\text{kazık}}=0.8\text{m}$ , kazık uzunluğu  $L_{\text{kazık}}=21.0\text{m}$ , radye kalınlığı  $t_{\text{radye}}=1.3\text{m}$  olarak 19 numaralı analizde yer almaktadır. Optimum hacim değeri ise Denklem 8.1’ de ifade edilen amaç fonksiyonuna göre,  $3471 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 8.21’de sunulan optimum boyutlar ve optimum hacim değeri Şekil 8.17’de grafiklerle ifade edilmiştir.



Şekil 8.17. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=176$ )

Analiz edilen kazık sayısı ile projenin gerçek boyutları sabit tutularak Denklem 8.1'e göre kullanılan beton hacmi hesaplanabilir.

$$\text{Minimize } V(x) = \sum_{k=1}^{n_{\text{kazık}}} \frac{\pi \cdot D_{\text{kazık}}^2 \cdot L_{\text{kazık}}}{4} + B_{\text{radye}} \cdot L_{\text{radye}} \cdot t_{\text{radye}} \quad (8.1)$$

Gerçek boyutlu konut projesinin tasarımında kullanılan parametreler ise şu şekilde sıralanabilir;  $D_{\text{kazık}}=0.8\text{m}$ ,  $L_{\text{kazık}}=32\text{ m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=176$ ,  $B_{\text{radye}}=27\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{ m}$  ve  $t_{\text{radye}}=2.5\text{ m}$ ' dir. Bu değerler amaç fonksiyonu Denklem 8.1' de yerine yazılırsa, beton hacmi  $V(x)= 5936\text{ m}^3$  olarak hesaplanır. Buna göre Çizelge 8.21'de yer alan optimum boyutlara göre elde edilen optimum hacim değeri ile kıyaslanırsa, beton hacminde yaklaşık olarak %41'lik bir azalım gözlemlenmektedir.

Denklem 8.1' in parametreleri şu şekilde tanımlanabilir:

$V(x)$ : Beton hacmi

$D_{kazik}$ : Kazık çapı

$L_{kazik}$ : Kazık boyu

$n_{kazik}$ : Kazık sayısı

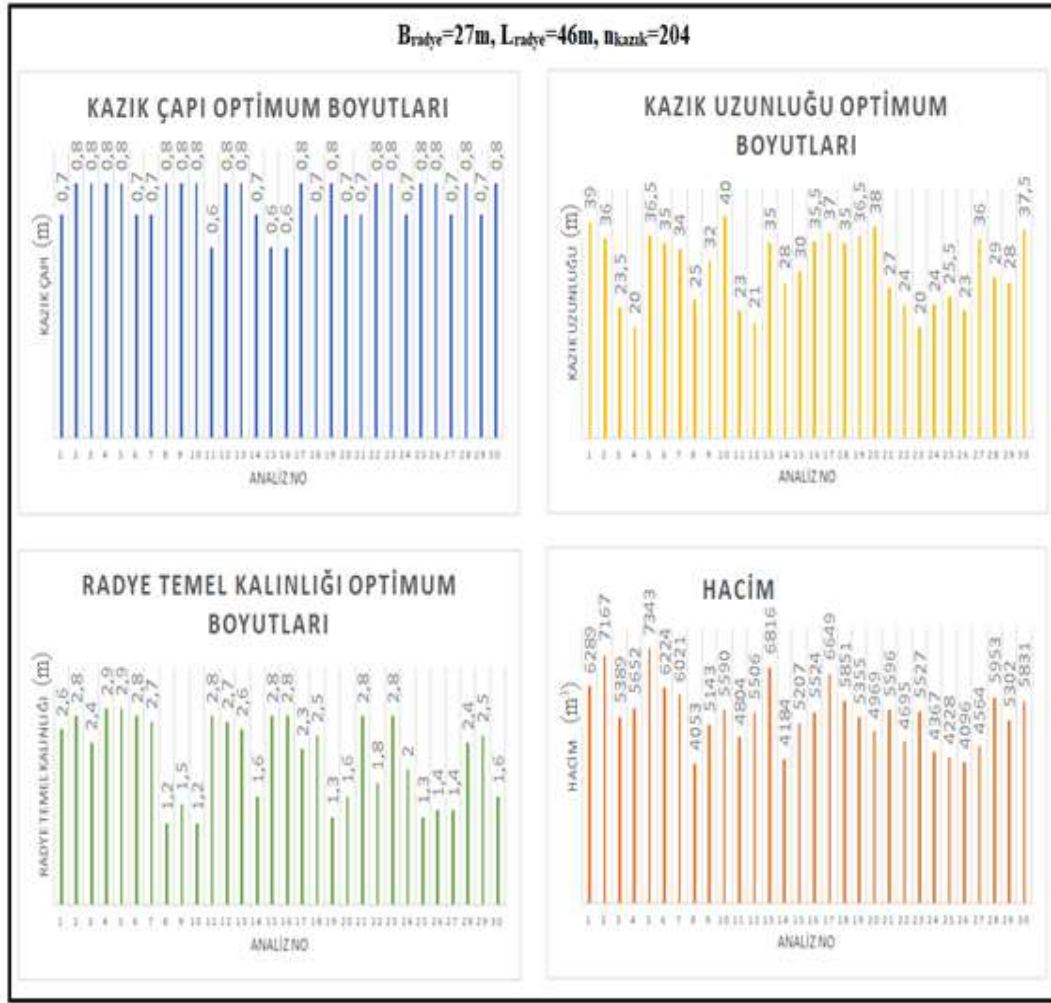
$B_{radye}$ : Radyenin genişliği

$L_{radye}$ : Radyenin uzunluğu

$t_{radye}$ : Radyenin kalınlığı

**Çizelge 8.22.** Radye boyutlarının  $B_{radye}=27m$ ,  $L_{radye}=46m$  ve kazık sayısının  $n_{kazik}=204$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim (m <sup>3</sup> )
	$B_{radye}$ (m)	$L_{radye}$ (m)	$D_{kazik}$ (m)	$L_{kazik}$ (m)	$t_{radye}$ (m)	
1	27	46	0,7	39,0	2,6	6289
2	27	46	0,8	36,0	2,8	7167
3	27	46	0,8	23,5	2,4	5389
4	27	46	0,8	20,0	2,9	5652
5	27	46	0,8	36,5	2,9	7343
6	27	46	0,7	35,0	2,8	6224
7	27	46	0,7	34,0	2,7	6021
<b>8</b>	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>25,0</b>	<b>1,2</b>	<b>4053</b>
9	27	46	0,8	32,0	1,5	5143
10	27	46	0,8	40,0	1,2	5590
11	27	46	0,6	23,0	2,8	4804
12	27	46	0,8	21,0	2,7	5506
13	27	46	0,8	35,0	2,6	6816
14	27	46	0,7	28,0	1,6	4184
15	27	46	0,6	30,0	2,8	5207
16	27	46	0,6	35,5	2,8	5524
17	27	46	0,8	37,0	2,3	6649
18	27	46	0,7	35,0	2,5	5851
19	27	46	0,8	36,5	1,3	5355
20	27	46	0,7	38,0	1,6	4969
21	27	46	0,7	27,0	2,8	5596
22	27	46	0,8	24,0	1,8	4695
23	27	46	0,8	20,0	2,8	5527
24	27	46	0,7	24,0	2,0	4367
25	27	46	0,8	25,5	1,3	4228
26	27	46	0,8	23,0	1,4	4096
27	27	46	0,7	36,0	1,4	4564
28	27	46	0,8	29,0	2,4	5953
29	27	46	0,7	28,0	2,5	5302
30	27	46	0,8	37,5	1,6	5831



**Şekil 8.18.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=204$ )

Çizelge 8.22’de kazık sayısının 204 olarak, 12x17 yerleşim düzeni ile projelendirilmesi durumunda, YAKA analizleri ile elde edilen optimum boyutlar yer almaktadır ve Şekil 8.18’de de grafiklerle sonuçlar gösterilmiştir.

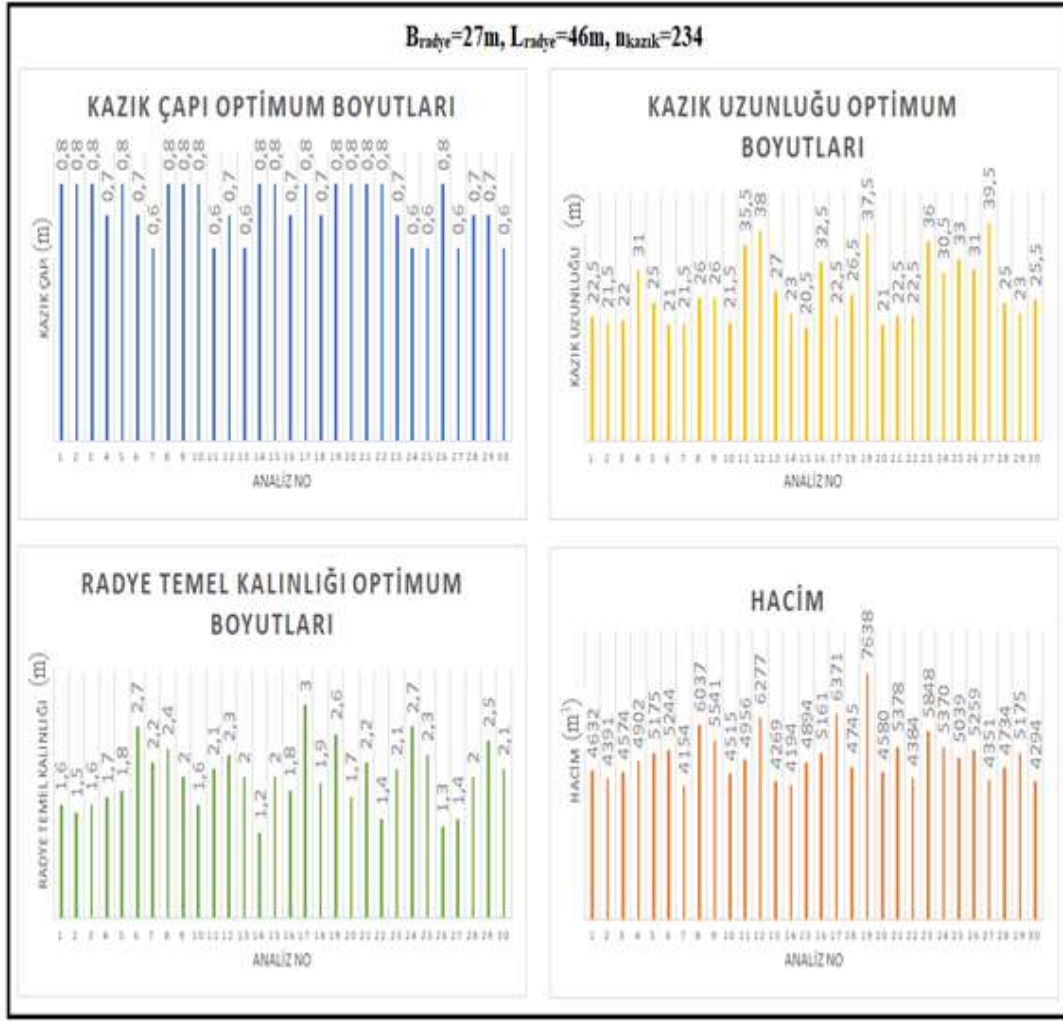
Optimum boyutlar 8 numaralı analizde yer almaktadır ve 0.8m çaplı, 25 m uzunluğunda ve 1.2m radye kalınlığında bir tasarım modelidir. Bu boyutlara göre kazık sayısının da 204 olması halinde optimum beton hacmi  $V(x)=4053\text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Denklem 8.1’e göre beton hacmi seçilen kazık sayısına göre hesaplanırsa,  $V(x)=6386\text{ m}^3$  tür. Buna göre analizlerde seçilen kazık sayısına göre YAKA analizleri ile beton hacminde yaklaşık olarak %36.5’lik bir azalım gözlemlenmiştir.

Çizelge 8.23. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=234$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	27	46	0,8	22,5	1,6	4632
2	27	46	0,8	21,5	1,5	4391
3	27	46	0,8	22,0	1,6	4574
4	27	46	0,7	31,0	1,7	4902
5	27	46	0,8	25,0	1,8	5175
6	27	46	0,7	21,0	2,7	5244
<b>7</b>	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>0,6</b>	<b>21,5</b>	<b>2,2</b>	<b>4154</b>
8	27	46	0,8	26,0	2,4	6037
9	27	46	0,8	26,0	2,0	5541
10	27	46	0,8	21,5	1,6	4515
11	27	46	0,6	35,5	2,1	4956
12	27	46	0,7	38,0	2,3	6277
13	27	46	0,6	27,0	2,0	4269
14	27	46	0,8	23,0	1,2	4194
15	27	46	0,8	20,5	2,0	4894
16	27	46	0,7	32,5	1,8	5161
17	27	46	0,8	22,5	3,0	6371
18	27	46	0,7	26,5	1,9	4745
19	27	46	0,8	37,5	2,6	7638
20	27	46	0,8	21,0	1,7	4580
21	27	46	0,8	22,5	2,2	5378
22	27	46	0,8	22,5	1,4	4384
23	27	46	0,7	36,0	2,1	5848
24	27	46	0,6	30,5	2,7	5370
25	27	46	0,6	33,0	2,3	5039
26	27	46	0,8	31,0	1,3	5259
27	27	46	0,6	39,5	1,4	4351
28	27	46	0,7	25,0	2,0	4734
29	27	46	0,7	23,0	2,5	5175
30	27	46	0,6	25,5	2,1	4294

Çizelge 8.23'te projenin gerçekteki boyutları kullanılarak YAKA ile analizleri sonucunda elde edilen optimum değerler tanımlanmıştır. Projenin gerçekteki kazık çapı 0.8m olarak projelendirilirken, kazık uzunluğu 32 m ve radye temel kalınlığı 2.5 m'dir. Optimum boyutlar ise analizler sonucunda Çizelge 8.23'e göre 7 numaralı analizde yer almaktadır

Buna göre; optimum kazık çapı 0.6m, kazık uzunluğu 21.5m ve radye kalınlığı 2.2 m bulunmuştur. Optimum kazıklı radye temel beton hacmi ise 4154  $\text{m}^3$  tür. Denklem 8.1'e göre projenin gerçekteki beton hacmi 6869  $\text{m}^3$  tür. Bu sonuca göre YAKA analizleri sonucunda elde edilen optimum boyutlar kullanılsaydı, beton hacminde yaklaşık olarak, %39.5'lik bir azalım meydana gelirdi. Elde edilen optimum sonuçlar Şekil 8.19'da grafiksel olarak tanımlanmıştır.



Şekil 8.19. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=234$ )

Benzer şekilde beton hacminin minimize edilmesi ve bir ekonomik sağlanabilmesi için birçok araştırma yapılmıştır. Araştırmacılar farklı amaç ve sınırlayıcı fonksiyonlar kullanarak, optimum boyutları ve bu doğrultuda da optimum hacim değerlerini algoritmalar yardımı ile araştırmışlardır. Örneğin Temür ve Öser (2019) yaptıkları çalışmada üç farklı algoritmayı aynı amaç ve sınırlayıcı fonksiyonlarla kodlamışlar ve beton hacminin maliyetini optimize etmeye çalışmışlardır. En optimum hacim ve maliyet değerini ise Bozkurt Algoritmasında elde etmişler ve bu algoritmanın kazıklı radye temellerin optimizasyonu için uygun bir algoritma olduğunu öne sürmüşlerdir. Aynı şekilde, Mohamedien vd., (2013) yaptıkları çalışmada kazık sayısının, kazıklı radye temellerin oturma miktarını azaltmada ki etkisini incelemişler ve optimizasyon analizleri sonucunda oluşturulan tasarımların ekonomikliğe olan etkisini hesaplamışlardır. Analizler sonucunda incelenen yapının optimum kazık uzunluğunun 24 m, kazık çapının 0.5 m ve radye kalınlığının 2 ile 3 m arasında seçilmesi durumunda,

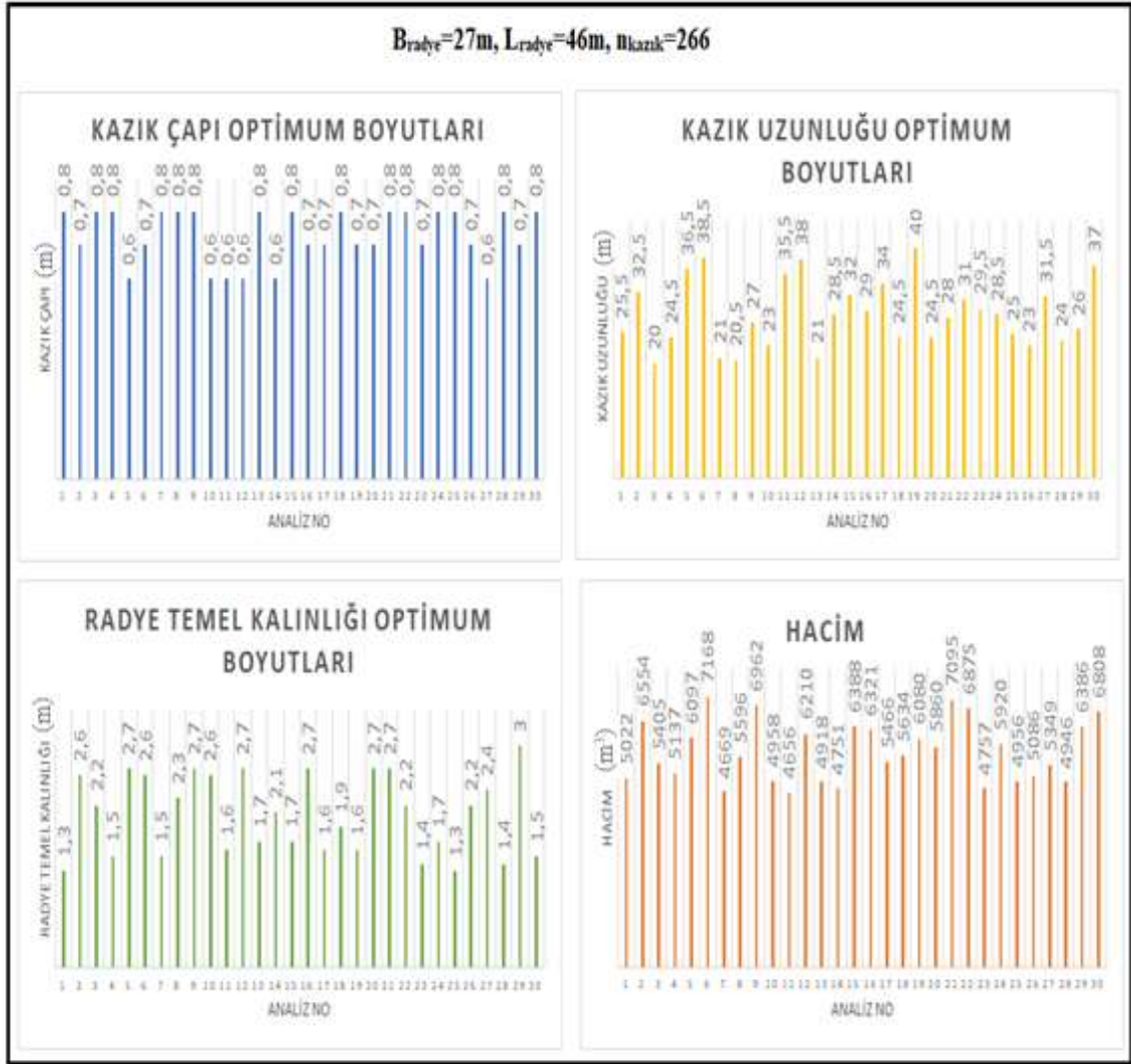
oturmaların minimum sınırlarda olacağı vurgulanmış ve gerçek boyutlara göre yaklaşık olarak bu boyutlardaki kazıklı radye temel ile %21' lik bir ekonomiklik sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

**Çizelge 8.24.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=266$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	27	46	0,8	25,5	1,3	5022
2	27	46	0,7	32,5	2,6	6554
3	27	46	0,8	20,0	2,2	5405
4	27	46	0,8	24,5	1,5	5137
5	27	46	0,6	36,5	2,7	6097
6	27	46	0,7	38,5	2,6	7168
7	27	46	0,8	21,0	1,5	4669
8	27	46	0,8	20,5	2,3	5596
9	27	46	0,8	27,0	2,7	6962
10	27	46	0,6	23,0	2,6	4958
<b>11</b>	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>0,6</b>	<b>35,5</b>	<b>1,6</b>	<b>4656</b>
12	27	46	0,6	38,0	2,7	6210
13	27	46	0,8	21,0	1,7	4918
14	27	46	0,6	28,5	2,1	4751
15	27	46	0,8	32,0	1,7	6388
16	27	46	0,7	29,0	2,7	6321
17	27	46	0,7	34,0	1,6	5466
18	27	46	0,8	24,5	1,9	5634
19	27	46	0,7	40,0	1,6	6080
20	27	46	0,7	24,5	2,7	5860
21	27	46	0,8	28,0	2,7	7095
22	27	46	0,8	31,0	2,2	6875
23	27	46	0,7	29,5	1,4	4757
24	27	46	0,8	28,5	1,7	5920
25	27	46	0,8	25,0	1,3	4956
26	27	46	0,7	23,0	2,2	5086
27	27	46	0,6	31,5	2,4	5349
28	27	46	0,8	24,0	1,4	4946
29	27	46	0,7	26,0	3,0	6386
30	27	46	0,8	37,0	1,5	6808

Çizelge 8.24'te radye boyutlarının sabitken, kazık sayısının arttırılması durumunda, elde edilen optimum boyutlar ve hacim değerleri elde edilmiştir. YAKA analizlerine göre, optimum boyutlar 11 numaralı analiz sonuçlarında görülmüştür. Kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=266$  olması durumunda, optimum kazık çapı  $D_{\text{kazık}}=0.6\text{m}$ , kazık uzunluğu  $L_{\text{kazık}}=35.5\text{m}$  ve radye temel kalınlığı  $t_{\text{radye}}=1.6\text{m}$  olarak tespit edilmiştir. Gerçek proje boyutlarına göre kazık çapında %25' lik bir azalım, kazık uzunluğunda yaklaşık %11'lik bir artış meydana gelmiştir. Bu boyutlar amaç fonksiyonunda yerine yazılırsa; optimum beton hacmi  $V(x)=4656 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur.

Şekil 8.20’de optimum değerler grafiklerle sunulmuştur. Gerçek boyutlu proje değerlerine göre kazık sayısı 266 olması halinde, beton hacmi  $V(x)=7384 \text{ m}^3$  tür. Buna göre, Çizelge 8.24’te yer alan optimum hacim değeri ile gerçekte oluşabilecek beton hacmi kıyaslanırsa; yaklaşık %37’ lik bir azalış olmaktadır.



**Şekil 8.20.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=266$ )

Analizlerin birinci aşamasında kazık sayısının artırılması durumunda optimum boyutlar ve optimum hacim değerleri araştırılmıştır. Diğer aşamada ise kazık sayısı sabitken, radye temel boyutlarının artırılması durumunda oluşan optimum boyutlar ve hacim değerleri YAKA ile analiz edilmiştir.

Radye boyutları  $B_{\text{radye}}$  için 27, 29, 31 ve 33 m,  $L_{\text{radye}}$  için 48, 50 ve 53 m olarak seçilmiştir ve analizler YAKA ile gerçekleştirilmiştir ve analizlerde kazık sayısı projenin gerçekteki kazık sayısı olan  $n_{\text{kazık}}=234$  tür.

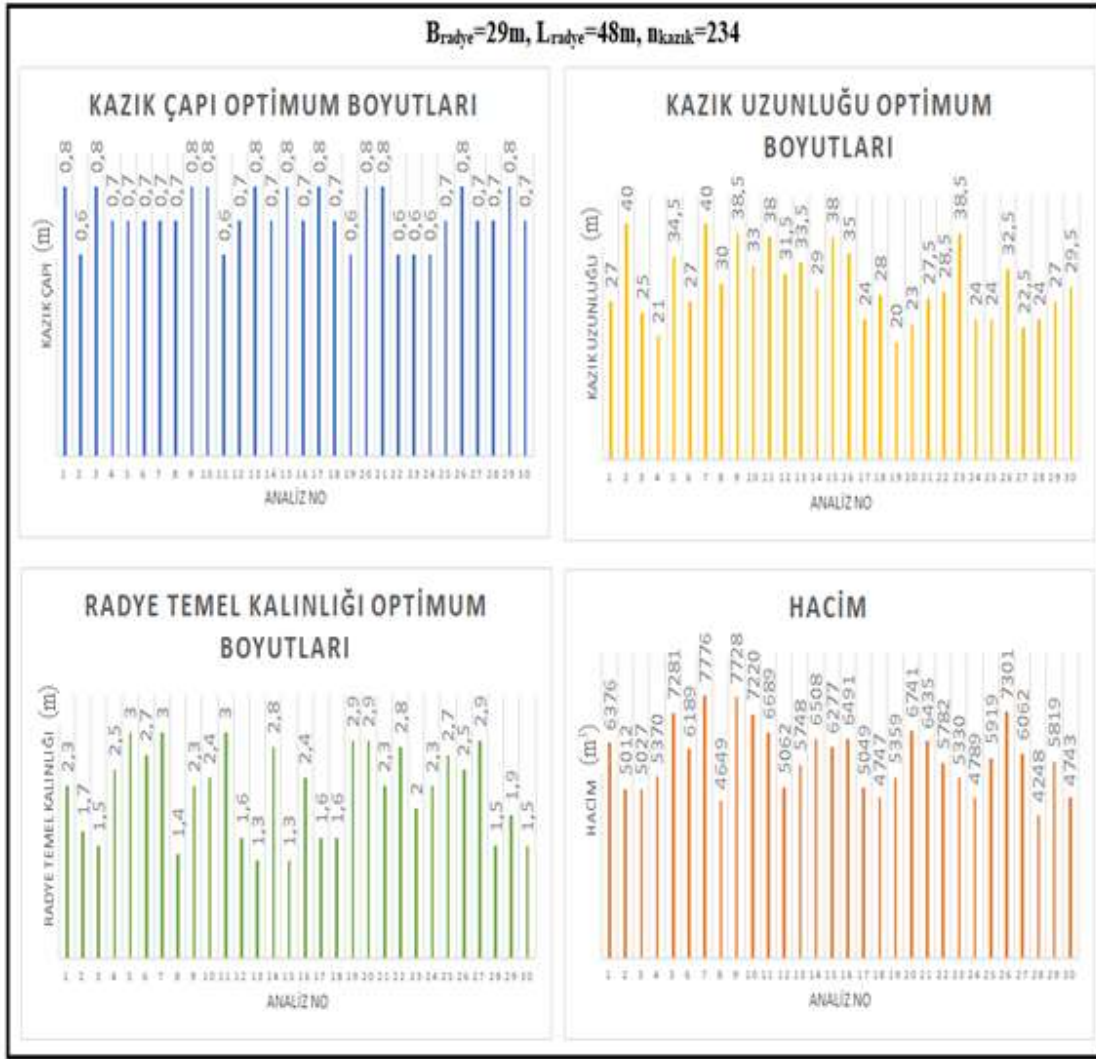


Çizelge 8.25'te radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=29$  m ve  $L_{\text{radye}}=48$  m olması durumunda ki analiz sonuçları sunulmuştur. Optimum sonuçlar 8 numaralı analizde yer almaktadır ve optimum kazık çapı 0.7 m, kazık uzunluğu 30,0 m ve radye kalınlığı 1.4 m olarak elde edilmiştir. Optimum boyutlara göre elde edilen hacim değeri ise  $4649 \text{ m}^3$  tür. Bu değerler Çizelge 8.25'e göre, Şekil 8.21'de yer almaktadır.

**Çizelge 8.25.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=29\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=234$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	29	48	0,8	27,0	2,3	6376
2	29	48	0,6	40,0	1,7	5012
3	29	48	0,8	25,0	1,5	5027
4	29	48	0,7	21,0	2,5	5370
5	29	48	0,7	34,5	3,0	7281
6	29	48	0,7	27,0	2,7	6189
7	29	48	0,7	40,0	3,0	7776
<b>8</b>	<b>29</b>	<b>48</b>	<b>0,7</b>	<b>30,0</b>	<b>1,4</b>	<b>4649</b>
9	29	48	0,8	38,5	2,3	7728
10	29	48	0,8	33,0	2,4	7220
11	29	48	0,6	38,0	3,0	6689
12	29	48	0,7	31,5	1,6	5062
13	29	48	0,8	33,5	1,3	5748
14	29	48	0,7	29,0	2,8	6508
15	29	48	0,8	38,0	1,3	6277
16	29	48	0,7	35,0	2,4	6491
17	29	48	0,8	24,0	1,6	5049
18	29	48	0,7	28,0	1,6	4747
19	29	48	0,6	20,0	2,9	5359
20	29	48	0,8	23,0	2,9	6741
21	29	48	0,8	27,5	2,3	6435
22	29	48	0,6	28,5	2,8	5782
23	29	48	0,6	38,5	2,0	5330
24	29	48	0,6	24,0	2,3	4789
25	29	48	0,7	24,0	2,7	5919
26	29	48	0,8	32,5	2,5	7301
27	29	48	0,7	22,5	2,9	6062
28	29	48	0,7	24,0	1,5	4248
29	29	48	0,8	27,0	1,9	5819
30	29	48	0,7	29,5	1,5	4743

Projenin gerçek boyutlarına göre yaklaşık radye alanı,  $B_{\text{radye}}=27$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m için,  $1242 \text{ m}^2$  dir ve Çizelge 8.23' e göre optimum beton hacmi değeri  $4154 \text{ m}^3$  tür. Çizelge 8.25'teki radyenin analiz boyutlarına göre ise yaklaşık radye temel alanı  $1392 \text{ m}^2$  dir ve optimum hacim değeri  $4649 \text{ m}^3$  tür. Buna göre radye alanının yaklaşık olarak %12' lik bir artışı ile YAKA analizi sonuçlarına göre, optimum beton hacminde yaklaşık %12' lik bir artış meydana getirmiştir.



**Şekil 8.21.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=29\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=234$ )

Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=29\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48\text{ m}$  ve diğer yapı parametrelerinin ise gerçek proje boyutları ile uyumlu seçilmesi durumunda, Denklem 8.1' e göre kullanılan beton hacmi  $7244\text{ m}^3$  tür. Buna göre YAKA analizleri ile elde edilen optimum hacim değeri ile kıyaslanırsa yaklaşık olarak %36'lık bir ekonomiklik ortaya çıkmıştır.

Benzer şekilde, Tunay (2019) hazırladığı tez çalışmasında, radye temellerin boyut değişiminin optimum beton hacmine etkisini incelemiştir. Bu konuda 3 farklı algoritma kullanmıştır. Bu algoritmalar Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Bio-Coğrafya Algoritması ve Arama Grup Algoritmasıdır.

Tunay (2019) çalışmada, farklı boyutlarda radye temel projelerinin optimum boyutlarını, hacmini ve maliyet hesabını analizlerle elde etmiştir. Analizler sonucunda,

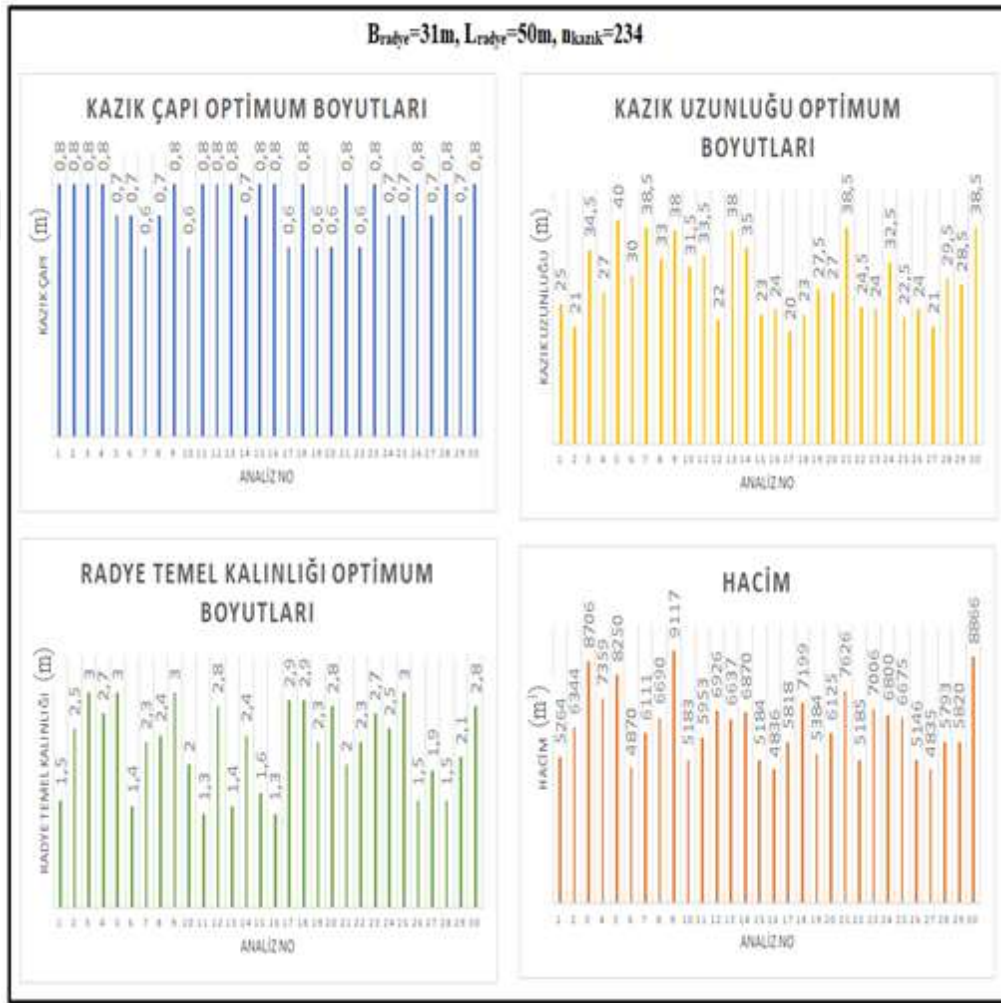
üç farklı gerçek boyutlu proje için, ilk projeden %63, ikinci projeden %31 ve üçüncü projeden yaklaşık %32' lik maliyette düşüş gözlenmiştir. Ayrıca algoritmalar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Aynı zamanda optimizasyon analizleri ve teknikleri kullanılarak, maliyetin ciddi oranlarda düşürülebileceği ve ekonomiye katkı sağlanabileceği vurgulanmıştır.

**Çizelge 8.26.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=31\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=50\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=234$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	31	50	0,8	25,0	1,5	5264
2	31	50	0,8	21,0	2,5	6344
3	31	50	0,8	34,5	3,0	8706
4	31	50	0,8	27,0	2,7	7359
5	31	50	0,7	40,0	3,0	8250
6	31	50	0,7	30,0	1,4	4870
7	31	50	0,6	38,5	2,3	6111
8	31	50	0,7	33,0	2,4	6690
9	31	50	0,8	38,0	3,0	9117
10	31	50	0,6	31,5	2,0	5183
11	31	50	0,8	33,5	1,3	5953
12	31	50	0,8	22,0	2,8	6926
13	31	50	0,8	38,0	1,4	6637
14	31	50	0,7	35,0	2,4	6870
15	31	50	0,8	23,0	1,6	5184
16	31	50	0,8	24,0	1,3	4836
17	31	50	0,6	20,0	2,9	5818
18	31	50	0,8	23,0	2,9	7199
19	31	50	0,6	27,5	2,3	5384
20	31	50	0,6	27,0	2,8	6125
21	31	50	0,8	38,5	2,0	7626
22	31	50	0,6	24,5	2,3	5185
23	31	50	0,8	24,0	2,7	7006
24	31	50	0,7	32,5	2,5	6800
25	31	50	0,7	22,5	3,0	6675
26	31	50	0,8	24,0	1,5	5146
<b>27</b>	<b>31</b>	<b>50</b>	<b>0,7</b>	<b>21,0</b>	<b>1,9</b>	<b>4835</b>
28	31	50	0,8	29,5	1,5	5793
29	31	50	0,7	28,5	2,1	5820
30	31	50	0,8	38,5	2,8	8866

Bir sonraki adımda radye temel boyutları artırılarak YAKA ile analizlere devam edilmiştir. Radye boyutları  $B_{\text{radye}}=31\text{ m}$  ve  $L_{\text{radye}}=50\text{ m}$  seçilmiştir ve bu durum radye alanının  $1550\text{ m}^2$  olmasından dolayı, alanının yaklaşık %25' lik bir artış oluşturmuştur. Çizelge 8.26' da optimum boyutlar en iyi 30 analiz sonucuna göre yer almaktadır. Optimum boyutlar Şekil 8.22' de grafiklerle tanımlanmıştır. En optimum sonuçlar ise 27 numaralı analizdedir ve kazık çapı 0.7 m, uzunluğu 21.0 m ve radye temel kalınlığı 1.9 m' dir. Optimum hacim değeri ise  $4835\text{ m}^3$  tür. Projenin gerçekteki radye temel boyutlarına göre elde edilen optimum hacim değeri (Çizelge 8.23) ile radye temel

boyutlarının arttırılması ile elde edilen (Çizelge 8.26) optimum hacim değeri karşılaştırılırsa, beton hacminde yaklaşık olarak %16'lık bir artış olmuştur. Analizlerde seçilen radye temel boyutları  $B_{\text{radye}}=31\text{ m}$  ve  $L_{\text{radye}}=50\text{ m}$ , Denklem 8.1' de projenin diğer gerçek yapı parametreleri sabit tutularak amaç fonksiyonunda yerine yazılırsa, beton hacmi  $7639\text{ m}^3$  olarak tespit edilir. Buna göre elde edilen optimum hacim değeri ile gerçekteki boyutlara göre elde edilen beton hacmi değeri kıyaslanırsa, yaklaşık %36'lık bir ekonomikliğin olduğu görülmektedir.

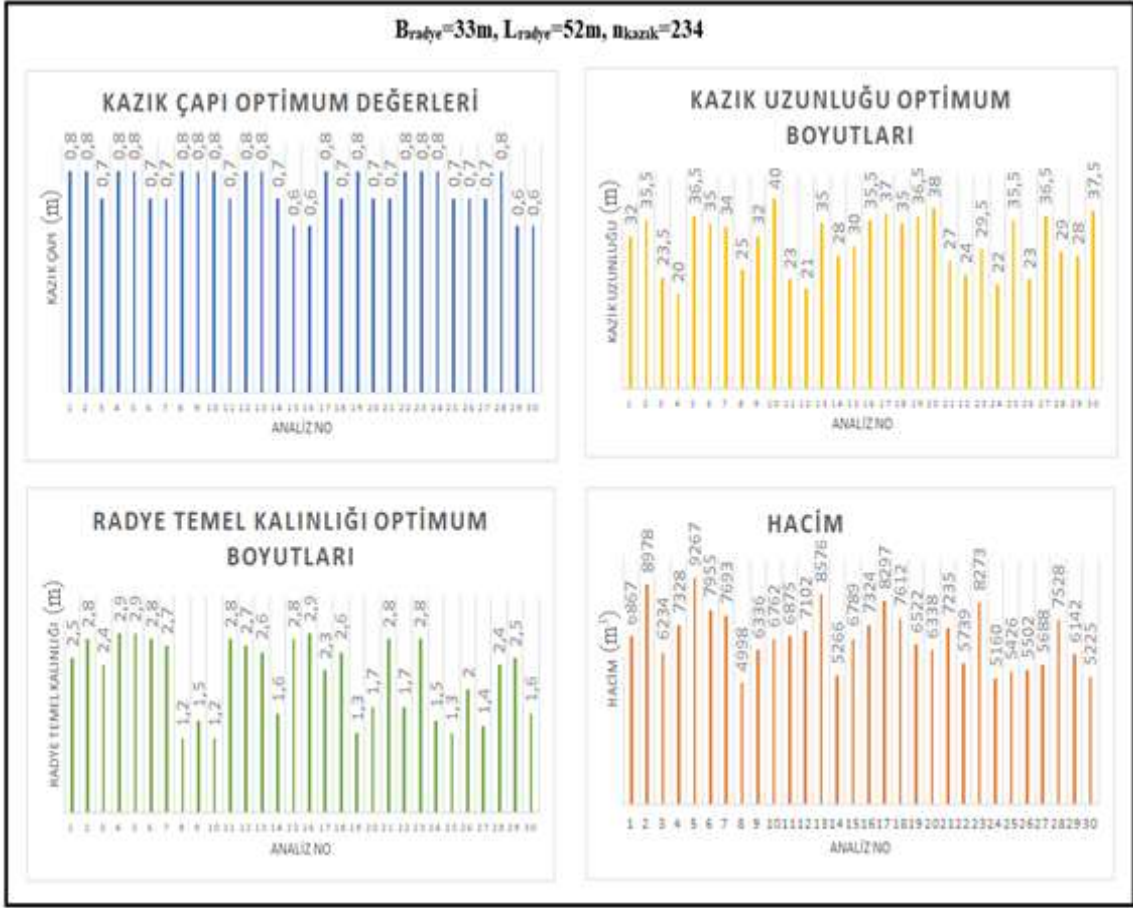


Radye temel boyutlarının değiştirilmesi durumunda oluşan beton hacmindeki değişim incelenmesi için yapılan analizlerde son olarak, Çizelge 8.27' de tanımlanan radye boyutları ( $B_{\text{radye}}=33\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{ m}$ ) analiz edilmiştir. YAKA' ya göre elde edilen optimum değerler Çizelge 8.27' de yer almaktadır ve en iyi 30 analiz sonucu Şekil 8.23' de grafiklerle tanımlanmıştır.

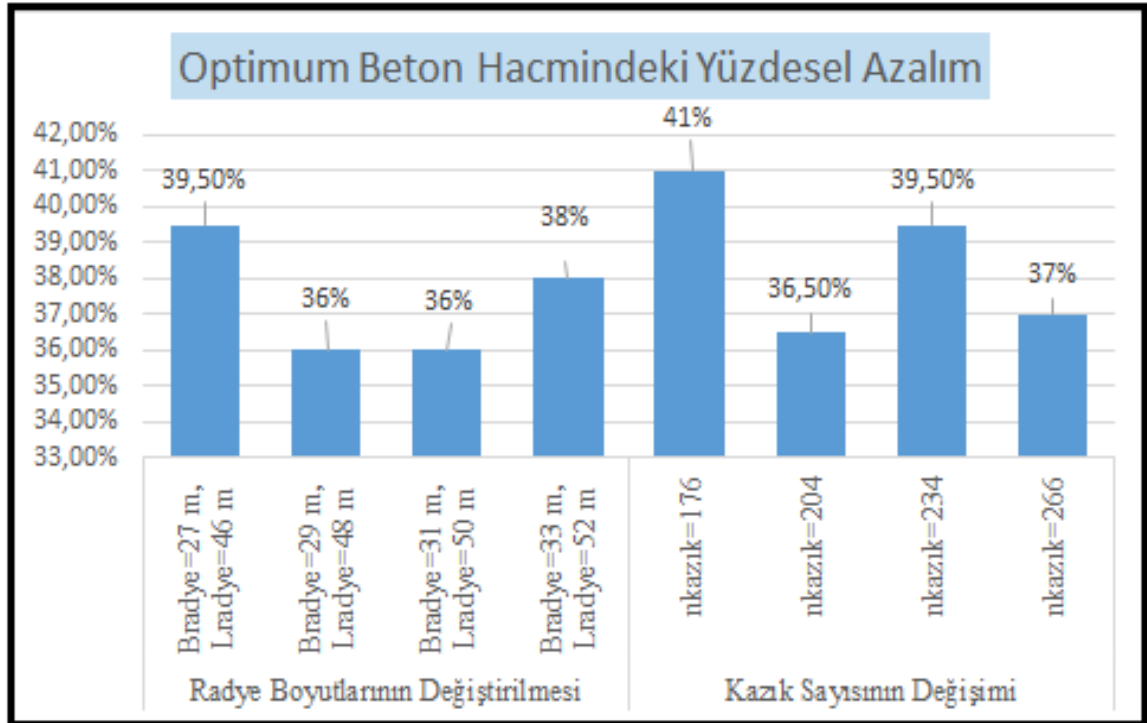
Çizelge 8.27. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=33\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=234$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	33	52	0,8	32,0	2,5	6867
2	33	52	0,8	35,5	2,8	8978
3	33	52	0,7	23,5	2,4	6234
4	33	52	0,8	20,0	2,9	7328
5	33	52	0,8	36,5	2,9	9267
6	33	52	0,7	35,0	2,8	7955
7	33	52	0,7	34,0	2,7	7693
<b>8</b>	<b>33</b>	<b>52</b>	<b>0,8</b>	<b>25,0</b>	<b>1,2</b>	<b>4998</b>
9	33	52	0,8	32,0	1,5	6336
10	33	52	0,8	40,0	1,2	6762
11	33	52	0,7	23,0	2,8	6875
12	33	52	0,8	21,0	2,7	7102
13	33	52	0,8	35,0	2,6	8576
14	33	52	0,7	28,0	1,6	5266
15	33	52	0,6	30,0	2,8	6789
16	33	52	0,6	35,5	2,9	7324
17	33	52	0,8	37,0	2,3	8297
18	33	52	0,7	35,0	2,6	7612
19	33	52	0,8	36,5	1,3	6522
20	33	52	0,7	38,0	1,7	6338
21	33	52	0,7	27,0	2,8	7235
22	33	52	0,8	24,0	1,7	5739
23	33	52	0,8	29,5	2,8	8273
24	33	52	0,8	22,0	1,5	5160
25	33	52	0,7	35,5	1,3	5426
26	33	52	0,7	23,0	2,0	5502
27	33	52	0,7	36,5	1,4	5688
28	33	52	0,8	29,0	2,4	7528
29	33	52	0,6	28,0	2,5	6142
30	33	52	0,6	37,5	1,6	5225

Optimum boyutlar 8 numaralı analizdedir ve optimum beton hacmi  $4998 \text{ m}^3$  tür. Radye boyutlarının bu şekilde seçilmesi durumunda, radye temel alanında yaklaşık %38'lik bir artış olmuştur. Çizelge 8.23'te yer alan gerçek radye temel boyutlarındaki optimum hacim değeri ile Çizelge 8.27'de radye boyutlarının değiştirilmesi ile elde edilen optimum hacim değerleri kıyaslanırsa, yaklaşık olarak %21' lik bir artış olmuştur. Denklem 8.1 ile gerçek yapı boyutları ve analiz edilen radye temel boyutları kullanılarak beton hacmi hesaplanır ise  $V(x)=8054 \text{ m}^3$  olarak bulunur. Bu sonuca göre optimum hacim değeri ile karşılaştırılırsa, optimizasyon analizleri sonucunda yaklaşık olarak beton hacminde %38'lik bir ekonomiklik gözlemlenmiştir. İkinci proje için YAKA analizleri ile elde edilen hacim değerlerinde ki yüzdesel ekonomiklik Şekil 8.24'te sunulmuştur.



Şekil 8.23. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=33\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=234$ )



Şekil 8.24. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri

### 8.7.3. Gerçek boyutlu üçüncü projenin YAKA ile optimizasyonu

Gerçek boyutlu üçüncü proje inşası tamamlanan yüksek katlı bir konut projesidir. YAKA ve HAA algoritmalarında yazılan optimizasyon kodu ile projenin iki farklı yaklaşımla optimum boyutları araştırılmıştır. Birinci yaklaşımda, kazık sayısı değişirken, radye boyutları sabit tutulmuştur. İkinci yaklaşımda ise, radye boyutları değiştirilirken, kazık sayısı sabit tutulmuş ve optimum boyutlar olan; kazık çapı, kazık uzunluğu ve radye kalınlığı hesaplanmıştır. Denklem 8.1' de tasarım değişkenleri yerine yazılarak, optimum hacim değerleri bulunmuştur ve projenin gerçekteki boyutlarına göre, optimum boyutlarının kullanılması halinde yaklaşık olarak % kaçlık bir ekonomi sağlanacağı yorumlanmıştır. Analizlerde kullanılan gerçek boyutlu üçüncü projenin zemin özellikleri şu şekilde tanımlanabilir. Zemin profiline göre; 0.5-1m aralığında “Dolgu” tabakası, 1-3m aralığında yeşilimsi bej, kahverengi renkli sert “Rezidüel Grovak” tabakası ve 3m sonrasında ise, yer yer şist ara seviyeli bej-kahverenkli orta ayrışmış-yer yer orta dayanımlı “Grovak” tabaka yer almaktadır. Yapının çok katlı olması, yapı yükünün fazla olması ve oturmaların sınırlandırılması amacı ile temel sistemi kazıklı radye temel olarak seçilmiştir. Çizelge 8.28’ de temel sistemi ve zemin yapısının genel özelliklerini yansıtan ve optimizasyon analiz kodlarında da yer alan parametreler tanımlanmıştır.

**Çizelge 8.28.** Üçüncü projenin kazıklı radye temel hesap modelinin genel parametreleri

Parametreler	Değer
Tekil kazığın taşıma kapasitesi ( $Q_F$ )	3410 kN
Radye temelin enine boyutu ( $B_{\text{radye}}$ )	35 m
Radyenin boyuna boyutu ( $L_{\text{radye}}$ )	46 m
Radyenin kalınlığı ( $t_{\text{radye}}$ )	2 m
Kazık sayısı ( $n_{\text{kazık}}$ )	192
Radyeye gelen üniform gerilme	236 kPa
Zeminin Poisson oranı ( $\nu$ )	0,2
Kazıklar arası mesafe	2,4 m
Kazık uzunluğu ( $L_{\text{kazık}}$ )	23 m
Kazık çapı ( $D_{\text{kazık}}$ )	0,8 m
Kazık taban çapı	0,8 m
Zemin Elastisite modülü	55 MPa
Kazığın Elastisite modülü, $E_{\text{kazık}}$	32000 MPa
Radyenin Elastisite modülü, $E_{\text{radye}}$	33000 MPa
Kazığın Poisson oranı $\nu_{\text{kazık}}$	0,2
Radyenin Poisson oranı, $\nu_{\text{radye}}$	0,2
Kazık yerleşim düzeni	12x16

Çizelge 8.28’ de görüldüğü üzere, radye boyutları  $B_{\text{radye}}=35$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m ve radye temel kalınlığı  $t_{\text{radye}}=2$  m’ dir. Kazık çapı 0.8m ve kazık uzunluğu ise 23 m olarak seçilmiştir. Kazıklar arası mesafe  $3D_{\text{kazık}}$  olarak belirlenmiştir ve bu değer 2.4 m’ dir. Kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}=192$  olarak, 12x16 yerleşim düzeni ile tasarlanmıştır.

Çizelge 8.28' e göre, Denklem 8.1 kullanılarak, projenin gerçek boyutlarına göre beton hacmi şu şekilde hesaplanabilir.

$$\text{Minimize } V(x) = \sum_{k=1}^{n_{kazik}} \frac{\pi \cdot D_{kazik}^2 \cdot L_{kazik}}{4} + B_{radye} \cdot L_{radye} \cdot t_{radye} \quad (8.1)$$

Burada;

$V(x)$ : Beton hacmi

$D_{kazik}$ : Kazık çapı

$L_{kazik}$ : Kazık boyu

$n_{kazik}$ : Kazık sayısı

$B_{radye}$ : Radyenin genişliği

$L_{radye}$ : Radyenin uzunluğu

$t_{radye}$ : Radyenin kalınlığı

Çizelge 8.28' de de belirtildiği üzere;  $D_{kazik}=0.8\text{m}$ ,  $L_{kazik}=23\text{ m}$ ,  $n_{kazik}=192$ ,  $B_{radye}=35\text{ m}$ ,  $L_{radye}=46\text{ m}$  ve  $t_{radye}=2\text{ m}$  projenin gerçek boyutlarıdır. Bu değerler amaç fonksiyonu Denklem 8.1' de yerine yazılırsa, projenin gerçek beton hacmi  $V(x)= 5439\text{ m}^3$  olarak hesaplanır. Bu değer analiz sonuçları ile kıyaslanarak, optimum boyutlar kullanılması durumunda algoritmalarla elde edilebilecek ekonomiklik %'leri yorumlanacaktır.

**Çizelge 8.29.** Üçüncü projenin tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri ile artım miktarı

Tasarım değişkenleri	Alt sınır	Üst sınır	Artım miktarı
Kazık çapı (m), $D_{kazik}$	0.6	0.9	0.1
Kazık uzunluğu (m), $L_{kazik}$	10	40	0.5
Radye temel kalınlığı (m), $t_{radye}$	1.2	3	0.1

Çizelge 8.29' da üçüncü proje için belirlenen tasarım değişkenlerinin alt üst sınırı ile artım miktarları yer almaktadır. Projenin radye boyutları dikkate alınarak kazık çapının alt ve üst sınır değerleri belirlenmiştir.



Analizlerde YAKA ve HAA optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Analizlerde optimum boyutları araştırılırken, kazık sayısı  $n_{kazık}$  sırası ile 140, 165, 192, 221 olarak seçilmiştir.

Kazıkların yerleşim düzeni Çizelge 8.30' da yer almaktadır. Radyenin boyutları ise,  $B_{radye}=35$  m,  $L_{radye}=46$  m;  $B_{radye}=37$  m,  $L_{radye}=48$  m;  $B_{radye}=39$  m,  $L_{radye}=50$  m;  $B_{radye}=41$  m,  $L_{radye}=52$  m şeklinde tanımlanarak optimizasyon analizleri algoritmalarla gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen optimum boyutlu kazıklı radye temel tasarımlarının, temel sistemindeki kazık yerleşim düzeni EK-5'de sunulmuştur.

**Çizelge 8.30.** Kazık sayısı ve yerleşim düzeni

Kazık Yerleşim Düzeni	Kazık Sayısı, $n_{kazık}$
10x14	140
11x15	165
12x16	192
13x17	221

İlk yaklaşıma göre Çizelge 8.31, Çizelge 8.32, Çizelge 8.33 ve Çizelge 8.34'te radye boyutları sabitken, kazık sayısı değişimi incelenmiştir. Şekil 8.21, Şekil 8.22, Şekil 8.23 ve Şekil 8.24'te optimum boyutlar kazık çapı, kazık uzunluğu, radye temel kalınlığı ve hacim değerleri grafiklerle tanımlanmıştır.

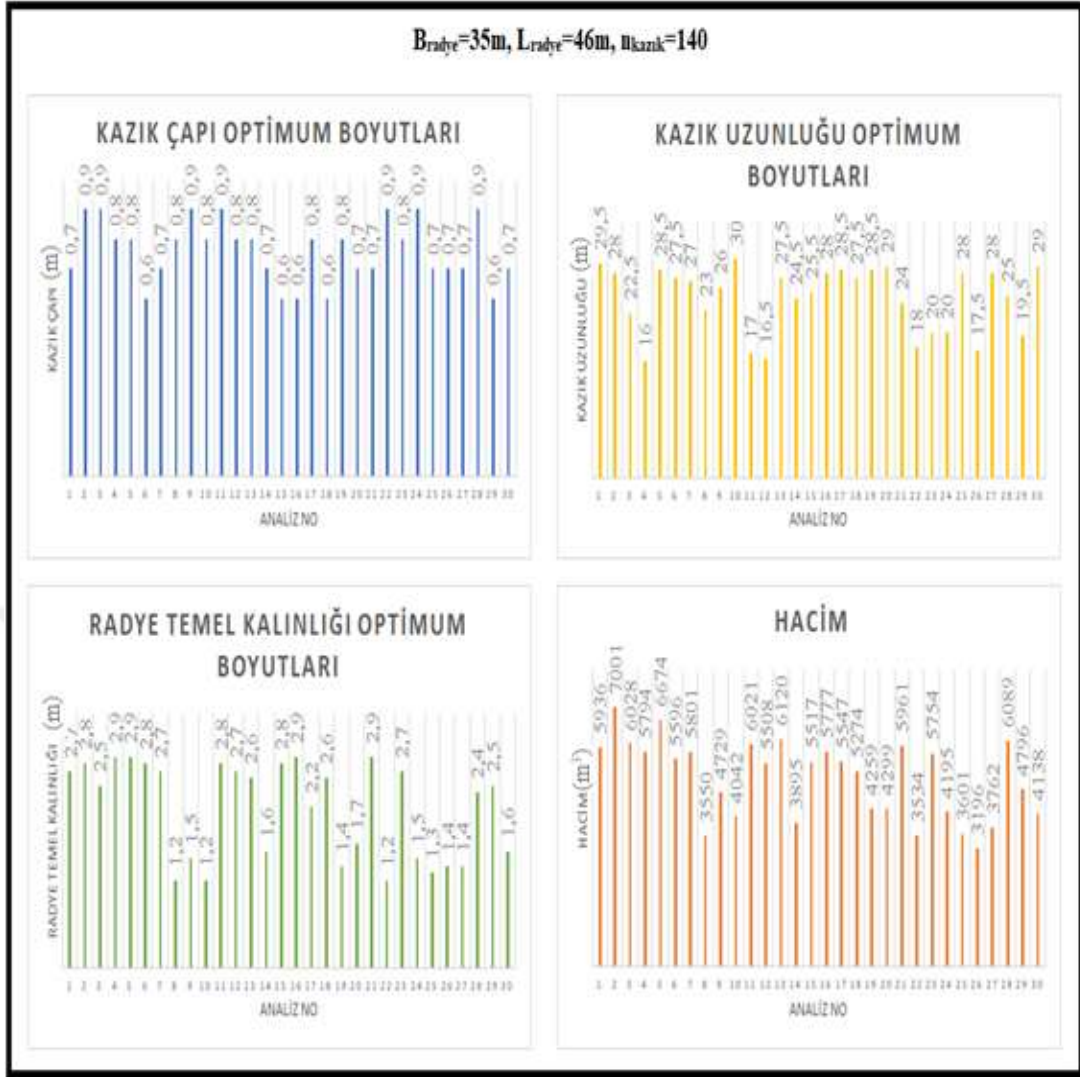
Buna göre, Çizelge 8.30' da yer alan 140 kazık sayısına göre radye boyutları projenin gerçek boyutları olan;  $B_{radye}=35$  m,  $L_{radye}=46$  m değerleri iken analizler yapılmış ve YAKA'ya göre Çizelge 8.31' de sunulan optimum kazık çapı, uzunluğu ve radye kalınlığı değerleri 30 analiz sonucu ile tanımlanmıştır. Optimum hacim değeri 26 numaralı analizde yer almaktadır. Optimum kazık çapının 0.7 m, kazık uzunluğunun 17.5 m ve radye temel kalınlığının 1.4 m olması durumunda hacim değeri  $3196 \text{ m}^3$  tür. Projenin gerçek boyutlarına göre kazık çapında % 12.5, kazık uzunluğunda %24 ve radye temel kalınlığında %30' luk bir azalım gözlemlenmiştir.

Şekil 8.25'te ise optimum kazıklı radye temel boyutları ve bunun sonucunda oluşan optimum hacim değerleri grafiksel olarak tanımlanmıştır.

**Çizelge 8.31.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=140$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	35	46	0,7	29,5	2,7	5936
2	35	46	0,9	28,0	2,8	7001
3	35	46	0,9	22,5	2,5	6028
4	35	46	0,8	16,0	2,9	5794
5	35	46	0,8	28,5	2,9	6674
6	35	46	0,6	27,5	2,8	5596
7	35	46	0,7	27,0	2,7	5801
8	35	46	0,8	23,0	1,2	3550
9	35	46	0,9	26,0	1,5	4729
10	35	46	0,8	30,0	1,2	4042
11	35	46	0,9	17,0	2,8	6021
12	35	46	0,8	16,5	2,7	5508
13	35	46	0,8	27,5	2,6	6120
14	35	46	0,7	24,5	1,6	3895
15	35	46	0,6	25,5	2,8	5517
16	35	46	0,6	28,0	2,9	5777
17	35	46	0,8	28,5	2,2	5547
18	35	46	0,6	27,5	2,6	5274
19	35	46	0,8	28,5	1,4	4259
20	35	46	0,7	29,0	1,7	4299
21	35	46	0,7	24,0	2,9	5961
22	35	46	0,9	18,0	1,2	3534
23	35	46	0,8	20,0	2,7	5754
24	35	46	0,9	20,0	1,5	4195
25	35	46	0,7	28,0	1,3	3601
<b>26</b>	<b>35</b>	<b>46</b>	<b>0,7</b>	<b>17,5</b>	<b>1,4</b>	<b>3196</b>
27	35	46	0,7	28,0	1,4	3762
28	35	46	0,9	25,0	2,4	6089
29	35	46	0,6	19,5	2,5	4796
30	35	46	0,7	29,0	1,6	4138

Denklem 8.1’de kazık sayısı 140 iken, projenin diğer yapı parametreleri sabit tutularak kullanılan beton hacmi hesaplanırsa,  $V(x)=4838 \text{ m}^3$  tür. Buna göre YAKA analizleri sonucu elde edilen optimum hacim değeri ile, kazık sayısının 140 seçilmesi durumunda hesaplanan beton hacmi karşılaştırılırsa, optimum boyutların kullanılması durumunda yaklaşık olarak %34’lük bir ekonomiklik gözlemlenmiştir.

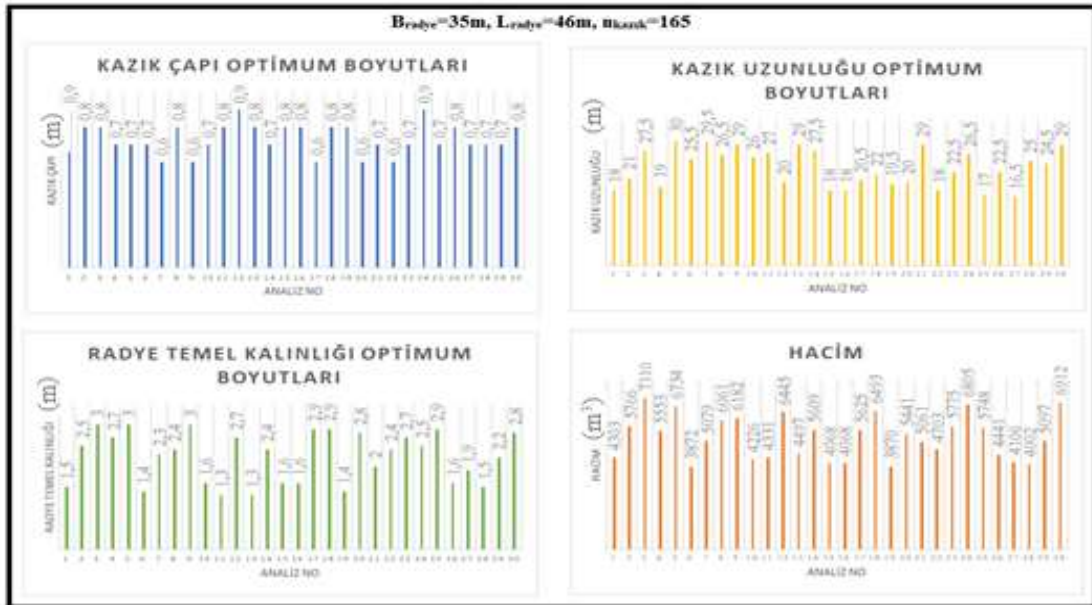


Şekil 8.25. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=140$ )

Çizelge 8.32' de kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=165$  olması durumunda gerçekleştirilen 30 optimum analiz sonucu yer almaktadır. Kazıklar 11x15 yerleşim düzenindedir. Optimum boyutlar ise 19 numaralı analiz sonucunda sunulmuştur. Kazık çapının 0.8 m, kazık uzunluğunun 19.5 m ve radye temel kalınlığının 1.4 m'de optimum hacim değeri  $V(x)=3870 \text{ m}^3$  olarak elde edilmiştir. Denklem 8.1 ile elde edilen gerçek proje beton hacmi değeri  $V(x)=5127 \text{ m}^3$  e göre beton hacminde yaklaşık %24.5'lik azalım oluşmuştur. Çizelge 8.32' de yer alan optimum boyutlar Şekil 8.26'da grafiklerle tanımlanmıştır.

Çizelge 8.32. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=165$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	35	46	0,9	18,0	1,5	4303
2	35	46	0,8	21,0	2,5	5766
3	35	46	0,8	27,5	3,0	7110
4	35	46	0,7	19,0	2,7	5553
5	35	46	0,7	30,0	3,0	6734
6	35	46	0,7	25,5	1,4	3872
7	35	46	0,6	29,5	2,3	5079
8	35	46	0,8	26,5	2,4	6061
9	35	46	0,6	29,0	3,0	6182
10	35	46	0,7	26,0	1,6	4226
11	35	46	0,8	27,0	1,3	4331
12	35	46	0,9	20,0	2,7	6445
13	35	46	0,8	29,0	1,3	4497
14	35	46	0,7	27,5	2,4	5609
15	35	46	0,8	18,0	1,6	4068
16	35	46	0,8	18,0	1,6	4068
17	35	46	0,6	20,5	2,9	5625
18	35	46	0,8	22,0	2,9	6493
<b>19</b>	<b>35</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>19,5</b>	<b>1,4</b>	<b>3870</b>
20	35	46	0,6	20,0	2,8	5441
21	35	46	0,7	29,0	2,0	5061
22	35	46	0,6	18,0	2,4	4703
23	35	46	0,7	22,5	2,7	5775
24	35	46	0,9	26,5	2,5	6805
25	35	46	0,7	17,0	2,9	5748
26	35	46	0,8	22,5	1,6	4441
27	35	46	0,7	16,5	1,9	4106
28	35	46	0,7	25,0	1,5	4002
29	35	46	0,7	24,5	2,2	5097
30	35	46	0,8	29,0	2,8	6912



Şekil 8.26. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=165$ )

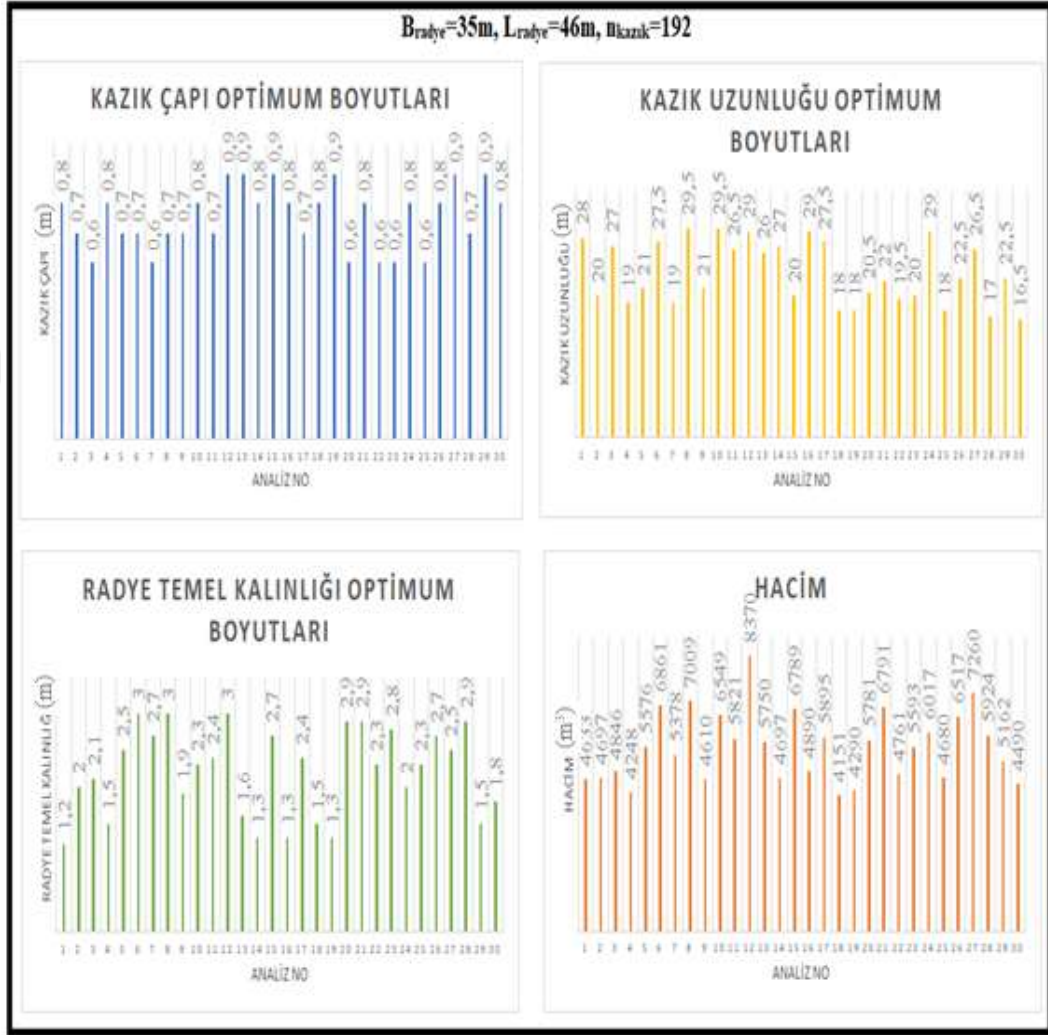
**Çizelge 8.33.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=192$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri			Kazık Özellikleri		
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	35	46	0,8	28,0	1,2	4633
2	35	46	0,7	20,0	2,0	4697
3	35	46	0,6	27,0	2,1	4846
4	35	46	0,8	19,0	1,5	4248
5	35	46	0,7	21,0	2,5	5576
6	35	46	0,7	27,5	3,0	6861
7	35	46	0,6	19,0	2,7	5378
8	35	46	0,7	29,5	3,0	7009
9	35	46	0,7	21,0	1,9	4610
10	35	46	0,8	29,5	2,3	6549
11	35	46	0,7	26,5	2,4	5821
12	35	46	0,9	29,0	3,0	8370
13	35	46	0,9	26,0	1,6	5750
14	35	46	0,8	27,0	1,3	4697
15	35	46	0,9	20,0	2,7	6789
16	35	46	0,8	29,0	1,3	4890
17	35	46	0,7	27,5	2,4	5895
<b>18</b>	<b>35</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>18,0</b>	<b>1,5</b>	<b>4151</b>
19	35	46	0,9	18,0	1,3	4290
20	35	46	0,6	20,5	2,9	5781
21	35	46	0,8	22,0	2,9	6791
22	35	46	0,6	19,5	2,3	4761
23	35	46	0,6	20,0	2,8	5593
24	35	46	0,8	29,0	2,0	6017
25	35	46	0,6	18,0	2,3	4680
26	35	46	0,8	22,5	2,7	6517
27	35	46	0,9	26,5	2,5	7260
28	35	46	0,7	17,0	2,9	5924
29	35	46	0,9	22,5	1,5	5162
30	35	46	0,8	16,5	1,8	4490

Projenin gerçek boyutları Çizelge 8.28’de yer almaktadır. Buna göre Çizelge 8.33’te yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar gerçek boyutlu proje boyutlarına göre gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kazık çapının optimum boyutu projenin kazık çapı ile uyumlu olarak 0.8 m’dir. Kazık uzunluğunun optimum 18 m seçilmesi durumunda kazık uzunluğunda yaklaşık %22’lik bir azalış oluşmaktadır. Radye temel kalınlığında ise, 1.5m olarak tasarlanması, radye temel kalınlığında %25’ lik azalış meydana getirmektedir. Çizelge 8.33 dikkate alınarak, analizler sonucunda bulunan optimum değerler Şekil 8.27 ile grafiklerle tanımlanmıştır.

Çizelge 8.33’e göre optimum hacim değeri  $4151 \text{ m}^3$  tür. Projenin gerçek boyutları; kazık çapı 0.8 m, kazık uzunluğu 23 m, radye temel kalınlığı 2 m olduğundan, Denklem 8.1’deki amaç fonksiyonuna göre projenin beton hacmi değeri  $5439 \text{ m}^3$  tür.

Buna göre analiz sonucunda elde edilen optimum boyutlar, projenin gerçekteki tasarımında seçilseydi, yaklaşık olarak YAKA analizleri ile %24' lük bir ekonomiklik sağlanabilirdi. Kazıklı radye temellerin yüksek maliyetli projeler olduğu düşünülürse, bu değer azımsanamayacak yüzdesel bir orandır.

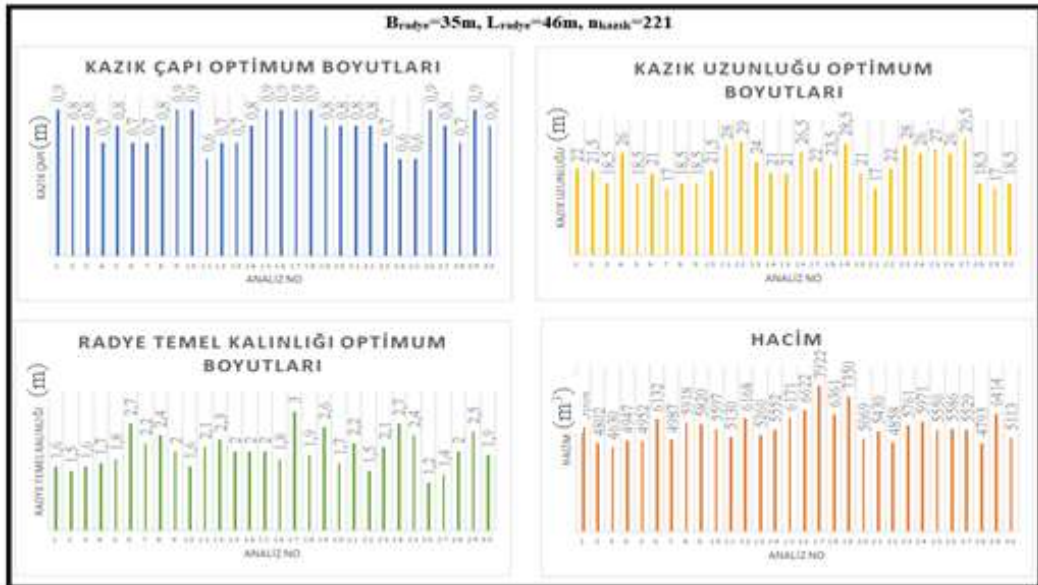


**Şekil 8.27.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$ )

Çizelge 8.34' te yer alan analiz sonuçlarında ise, kazık sayısının gerçekteki kazık sayısından fazla olması durumunda ki optimum boyutlar ve buna bağlı hacim değerleri sunulmuştur. Optimum boyutlar 3 numaralı analizde tanımlanmıştır. Optimum kazık uzunluğu 18.5m, radye temel kalınlığı 1.6m'dir. Buna göre amaç fonksiyonunu ifade eden optimum hacim değeri  $4630 \text{ m}^3$  tür. Elde edilen sonuçlar Şekil 8.24'te tanımlanmıştır.

Çizelge 8.34. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=221$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	35	46	0,9	22,0	1,6	5668
2	35	46	0,8	21,5	1,5	4802
<b>3</b>	<b>35</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>18,5</b>	<b>1,6</b>	<b>4630</b>
4	35	46	0,7	26,0	1,7	4947
5	35	46	0,8	18,5	1,8	4952
6	35	46	0,7	21,0	2,7	6132
7	35	46	0,7	17,0	2,2	4987
8	35	46	0,8	18,5	2,4	5918
9	35	46	0,9	18,5	2,0	5820
10	35	46	0,9	21,5	1,6	5597
11	35	46	0,6	28,0	2,1	5130
12	35	46	0,7	29,0	2,3	6168
13	35	46	0,7	24,0	2,0	5260
14	35	46	0,8	21,0	2,0	5552
15	35	46	0,9	21,0	2,0	6171
16	35	46	0,9	26,5	1,8	6622
17	35	46	0,9	22,0	3,0	7922
18	35	46	0,9	23,5	1,9	6361
19	35	46	0,8	28,5	2,6	7350
20	35	46	0,8	21,0	1,7	5069
21	35	46	0,8	17,0	2,2	5430
22	35	46	0,8	22,0	1,5	4858
23	35	46	0,7	28,0	2,1	5761
24	35	46	0,6	26,0	2,7	5971
25	35	46	0,6	27,0	2,4	5550
26	35	46	0,9	26,0	1,2	5586
27	35	46	0,8	29,5	1,4	5529
28	35	46	0,7	18,5	2,0	4793
29	35	46	0,9	17,0	2,5	6414
30	35	46	0,8	18,5	1,9	5113

Şekil 8.28. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=221$ )

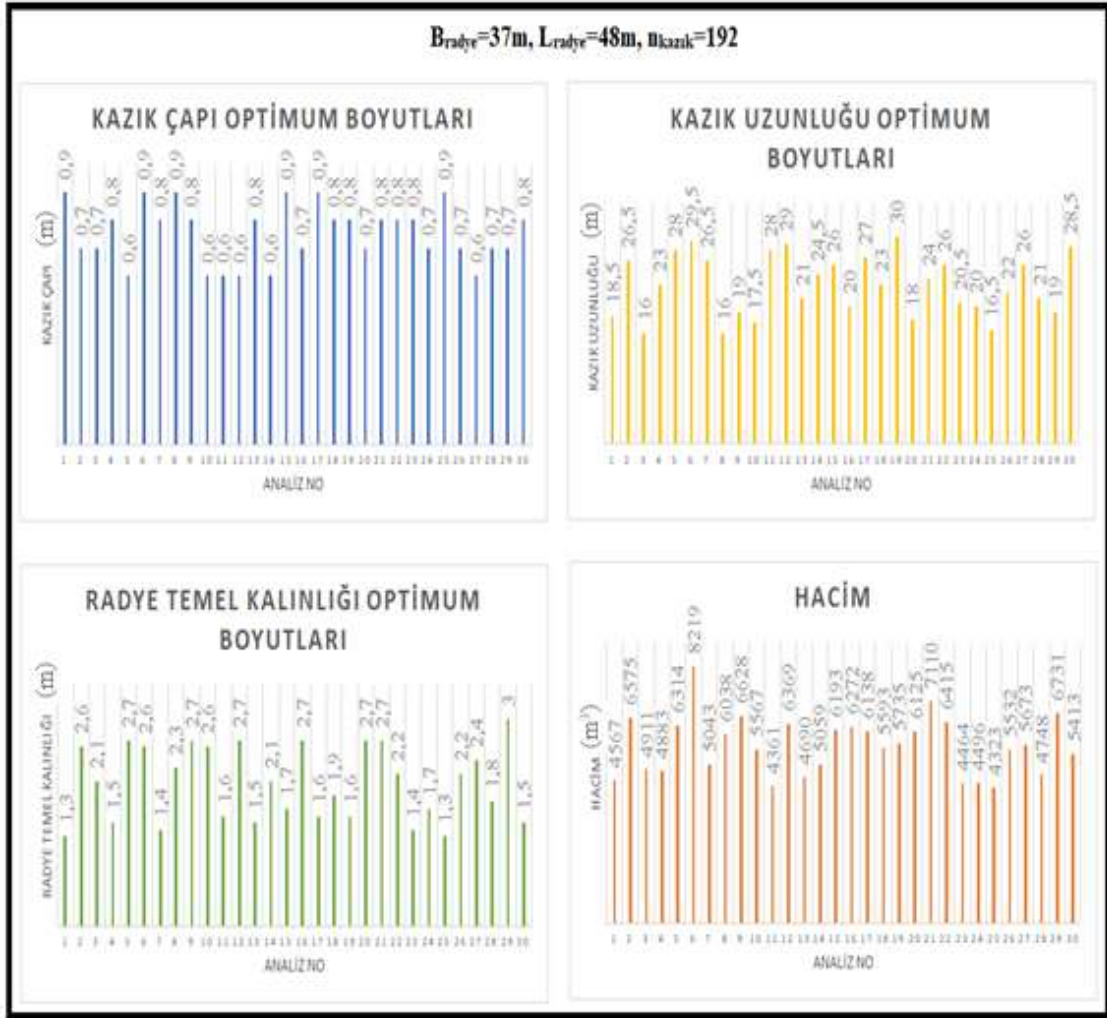
Projenin gerçek boyutları sabit tutularak, yani kazık çapı 0.8 m, kazık uzunluğu 23 m, radye temel kalınlığı 2 m, radye boyutları  $B_{\text{radye}}=35$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m iken, kazık sayısı 221' e çıkarılırsa, Denklem 8.1' e göre beton hacminin değeri  $V(x)=5774\text{m}^3$  tür. Buna göre Çizelge 8.34' teki optimum boyutların kullanılması durumunda beton hacminde yaklaşık olarak %20'lik bir ekonomiklik oluşmaktadır.

Analizlerin ikinci kısmında kazık sayısı sabit tutulurken, radye boyutları değiştirilmiş ve analizler YAKA ile gerçekleştirilmiştir. Radye boyutları  $B_{\text{radye}}=37$  m ve  $L_{\text{radye}}=48$  m,  $B_{\text{radye}}=39$  m ve  $L_{\text{radye}}=50$  m,  $B_{\text{radye}}=41$  m ve  $L_{\text{radye}}=52$  m, olarak seçilmiştir. Kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}$  ise projenin gerçek değeri olarak 192 seçilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen optimum boyutlar ve hacim değeri ilk olarak Çizelge 8.35'te tanımlanmıştır ve Şekil 8.29'da grafiklerle ifade edilmiştir.

**Çizelge 8.35.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=37\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=192$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	37	48	0,9	18,5	1,3	4567
2	37	48	0,7	26,5	2,6	6575
3	37	48	0,7	16,0	2,1	4911
4	37	48	0,8	23,0	1,5	4883
5	37	48	0,6	28,0	2,7	6314
6	37	48	0,9	29,5	2,6	8219
7	37	48	0,8	26,5	1,4	5043
8	37	48	0,9	16,0	2,3	6038
9	37	48	0,8	19,0	2,7	6628
10	37	48	0,6	17,5	2,6	5567
11	37	48	0,6	28,0	1,6	4361
12	37	48	0,6	29,0	2,7	6369
13	37	48	0,8	21,0	1,5	4690
14	37	48	0,6	24,5	2,1	5059
15	37	48	0,9	26,0	1,7	6193
16	37	48	0,7	20,0	2,7	6272
17	37	48	0,9	27,0	1,6	6138
18	37	48	0,8	23,0	1,9	5593
19	37	48	0,8	30,0	1,6	5735
20	37	48	0,7	18,0	2,7	6125
21	37	48	0,8	24,0	2,7	7110
22	37	48	0,8	26,0	2,2	6415
23	37	48	0,8	20,5	1,4	4464
24	37	48	0,7	20,0	1,7	4496
<b>25</b>	<b>37</b>	<b>48</b>	<b>0,9</b>	<b>16,5</b>	<b>1,3</b>	<b>4323</b>
26	37	48	0,7	22,0	2,2	5532
27	37	48	0,6	26,0	2,4	5673
28	37	48	0,7	21,0	1,8	4748
29	37	48	0,7	19,0	3,0	6731
30	37	48	0,8	28,5	1,5	5413





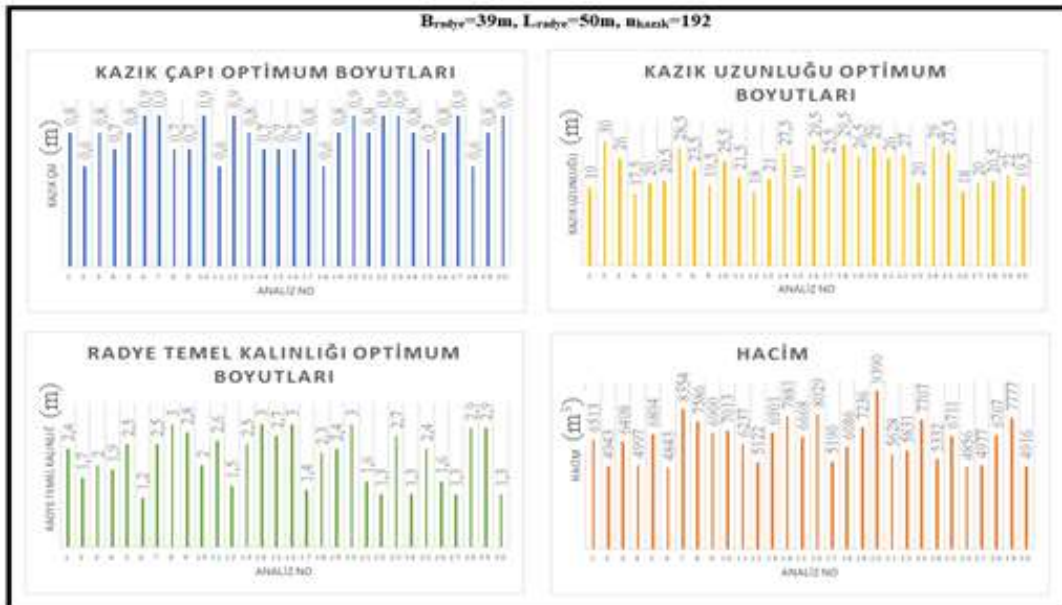
Şekil 8.29. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=37\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$ )

Optimum boyutlar 25 numaralı analiz sonuçlarında görülmektedir. Optimum hacim değeri  $V(x)=4323 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Denklem 8.1'e göre analizlerde seçilen boyutları  $B_{\text{radye}}=37 \text{ m}$  ve  $L_{\text{radye}}=48 \text{ m}$  radye boyutlarına göre beton hacmi  $V(x)=5772 \text{ m}^3$  olarak bulunur. Buna göre YAKA analizlerinde elde edilen optimum hacim değeri ile beton hacminde yaklaşık olarak %25 ekonomiklik sağlanmıştır.

Çizelge 8.36' da  $B_{\text{radye}}=39 \text{ m}$  ve  $L_{\text{radye}}=50 \text{ m}$  iken elde edilen optimizasyon sonuçları verilmiştir. Şekil 8.30'da grafiklerle ifade edilmiştir. Optimum boyutlar ve optimum hacim değeri 6 numaralı analizdedir ve optimum hacim değeri  $4843 \text{ m}^3$  tür. Denklem 8.1'e göre seçilen radye boyutlarında beton hacmi  $6120 \text{ m}^3$  olarak hesaplanır. Buna göre, optimizasyon analizleri sonucu elde edilen en optimum hacim değerine göre, yaklaşık %21'lik bir ekonomiklik gözlemlenmiştir.

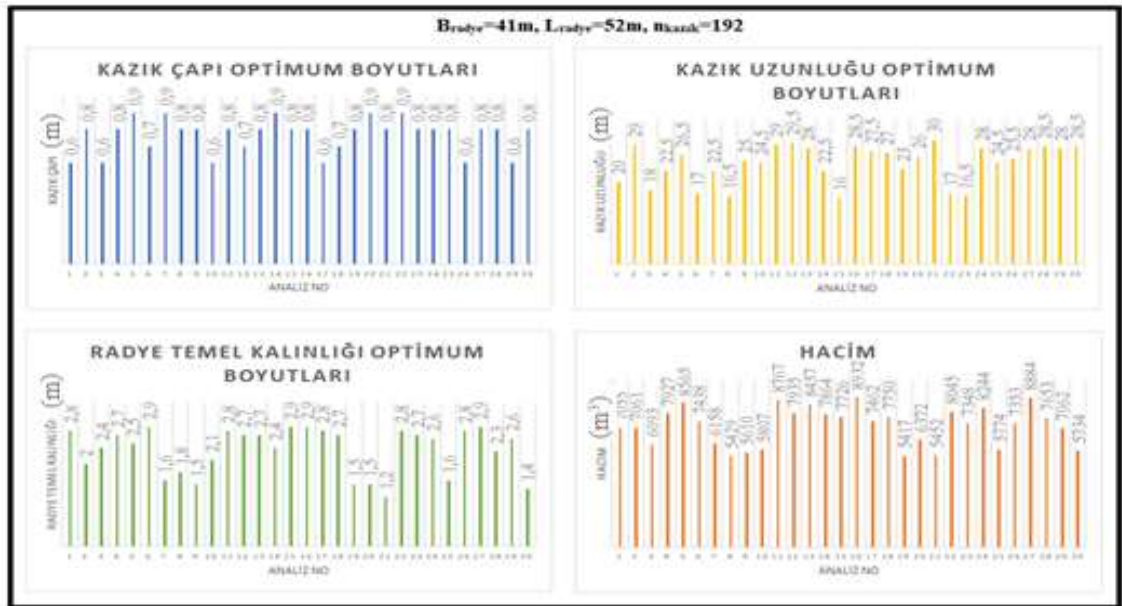
Çizelge 8.36. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=39\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=50\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=192$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	39	50	0,8	19,0	2,4	6513
2	39	50	0,6	30,0	1,7	4943
3	39	50	0,8	26,0	2,0	6408
4	39	50	0,7	17,5	1,9	4997
5	39	50	0,8	20,0	2,5	6804
<b>6</b>	<b>39</b>	<b>50</b>	<b>0,9</b>	<b>20,5</b>	<b>1,2</b>	<b>4843</b>
7	39	50	0,9	28,5	2,5	8354
8	39	50	0,7	23,5	3,0	7586
9	39	50	0,7	19,5	2,8	6900
10	39	50	0,9	25,5	2,0	7013
11	39	50	0,6	21,5	2,6	6237
12	39	50	0,9	18,0	1,5	5122
13	39	50	0,8	21,0	2,5	6901
14	39	50	0,7	27,5	3,0	7881
15	39	50	0,7	19,0	2,7	6668
16	39	50	0,7	29,5	3,0	8029
17	39	50	0,8	25,5	1,4	5190
18	39	50	0,6	29,5	2,3	6086
19	39	50	0,8	26,5	2,4	7236
20	39	50	0,9	29,0	3,0	9390
21	39	50	0,8	26,0	1,6	5628
22	39	50	0,9	27,0	1,3	5831
23	39	50	0,9	20,0	2,7	7707
24	39	50	0,8	29,0	1,3	5332
25	39	50	0,7	27,5	2,4	6711
26	39	50	0,8	18,0	1,6	4856
27	39	50	0,9	20,0	1,3	4977
28	39	50	0,6	20,5	2,9	6767
29	39	50	0,8	22,0	2,9	7777
30	39	50	0,9	19,5	1,3	4916

Şekil 8.30. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=39\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=50\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$ )

Çizelge 8.37. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=41\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=192$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	41	52	0,6	20,0	2,8	7055
2	41	52	0,8	29,0	2,0	7061
3	41	52	0,6	18,0	2,4	6093
4	41	52	0,8	22,5	2,7	7927
5	41	52	0,9	26,5	2,5	8565
6	41	52	0,7	17,0	2,9	7438
7	41	52	0,9	22,5	1,6	6158
8	41	52	0,8	16,5	1,8	5429
9	41	52	0,8	25,0	1,5	5610
10	41	52	0,6	24,5	2,1	5807
11	41	52	0,8	29,0	2,8	8767
12	41	52	0,7	29,5	2,7	7935
13	41	52	0,8	28,0	2,7	8457
14	41	52	0,9	22,5	2,4	7864
15	41	52	0,8	16,0	2,9	7726
16	41	52	0,8	28,5	2,9	8932
17	41	52	0,6	27,5	2,8	7462
18	41	52	0,7	27,0	2,7	7750
<b>19</b>	<b>41</b>	<b>52</b>	<b>0,8</b>	<b>23,0</b>	<b>1,5</b>	<b>5417</b>
20	41	52	0,9	26,0	1,5	6372
21	41	52	0,8	30,0	1,2	5452
22	41	52	0,9	17,0	2,8	8045
23	41	52	0,8	16,5	2,7	7348
24	41	52	0,8	28,0	2,6	8244
25	41	52	0,8	24,5	1,6	5774
26	41	52	0,6	25,5	2,8	7353
27	41	52	0,8	28,0	2,9	8884
28	41	52	0,8	28,5	2,3	7653
29	41	52	0,6	28,0	2,6	7062
30	41	52	0,8	28,5	1,4	5734



Şekil 8.31. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=41\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$ )

Çizelge 8.37 ve Şekil 8.31’de, 12x16 yerleşim düzeninde 192 kazıklı ve radye temel boyutları  $B_{\text{radye}}=41$  m ve  $L_{\text{radye}}=52$  m olan bir tasarıma göre optimum boyutlar ve hacim değerleri YAKA ile analiz edilmiştir. Optimum boyutlar 19 numaralı analizde yer almaktadır ve optimum hacim değeri  $5417 \text{ m}^3$  tür. Denklem 8.1’e göre beton hacmi seçilen radye temel boyutlarında  $6484 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır ve optimum hacim değeri ile karşılaştırılırsa, %18’lik bir azalım ortaya çıkmıştır.

#### 8.7.4. Gerçek boyutlu birinci projenin HAA ile optimizasyonu

Bölüm 8.7.1’ de YAKA ile optimizasyon analizleri yapılan birinci projenin genel zemin ve yapı özellikleri Çizelge 8.7 ve Çizelge 8.8’ de sunulmuştur. Bu bölümde ise gerçek boyutlu bu projenin HAA ile optimizasyon analizleri yapılmıştır. Kullanılan algoritmanın genel özellikleri Bölüm 6’da tanımlanmıştır ve analizlerde kullanılan parametre değerleri ise Çizelge 8.4’ te sunulmuştur. Parametre seçiminde, literatürde kullanılan parametre değerleri dikkate alınmıştır. YAKA analizlerinde olduğu gibi, ilk olarak radye boyutları projenin gerçek boyutları ile uyumlu seçilmiş ve kazık sayısı değiştirilerek analizler yapılmıştır. Analizlerde, kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}$  sırası ile 171, 200, 231, 264, 299 olarak belirlenmiştir. İkinci kısımda ise kazık sayısı projenin kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}=264$  sabit tutularak, radye boyutları değiştirilmiş ve analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda optimum kazık çapı, kazık uzunluğu ve radye temel kalınlığı tespit edilmiştir. Elde edilen optimum boyutlu kazıklı radye temel tasarımlarının, temel sistemindeki kazık yerleşim düzeni EK-2’te sunulmuştur. Optimum boyutlar Denklem 8.1’ de ifade edilen amaç fonksiyonunda yerine yazılarak, optimum hacim değerleri bulunmuştur. Gerçek projenin beton hacim değeri ile karşılaştırılarak, optimum boyutların kullanılması halinde beton hacminde sağlanacak ekonomik %’ ler yorumlanmıştır. Analizlerde kullanılan radye boyutları;  $B_{\text{radye}}=40$  m,  $L_{\text{radye}}=80$  m;  $B_{\text{radye}}=42$  m,  $L_{\text{radye}}=82$  m;  $B_{\text{radye}}=44$  m,  $L_{\text{radye}}=84$  m;  $B_{\text{radye}}=46$  m,  $L_{\text{radye}}=86$  m;  $B_{\text{radye}}=48$  m,  $L_{\text{radye}}=88$  m olarak belirlenmiştir. Kazık sayılarının yerleşim düzeni ise Çizelge 8.38’ de şu şekilde tanımlanmıştır.

**Çizelge 8.38.** Kazık sayısı ve yerleşim düzeni

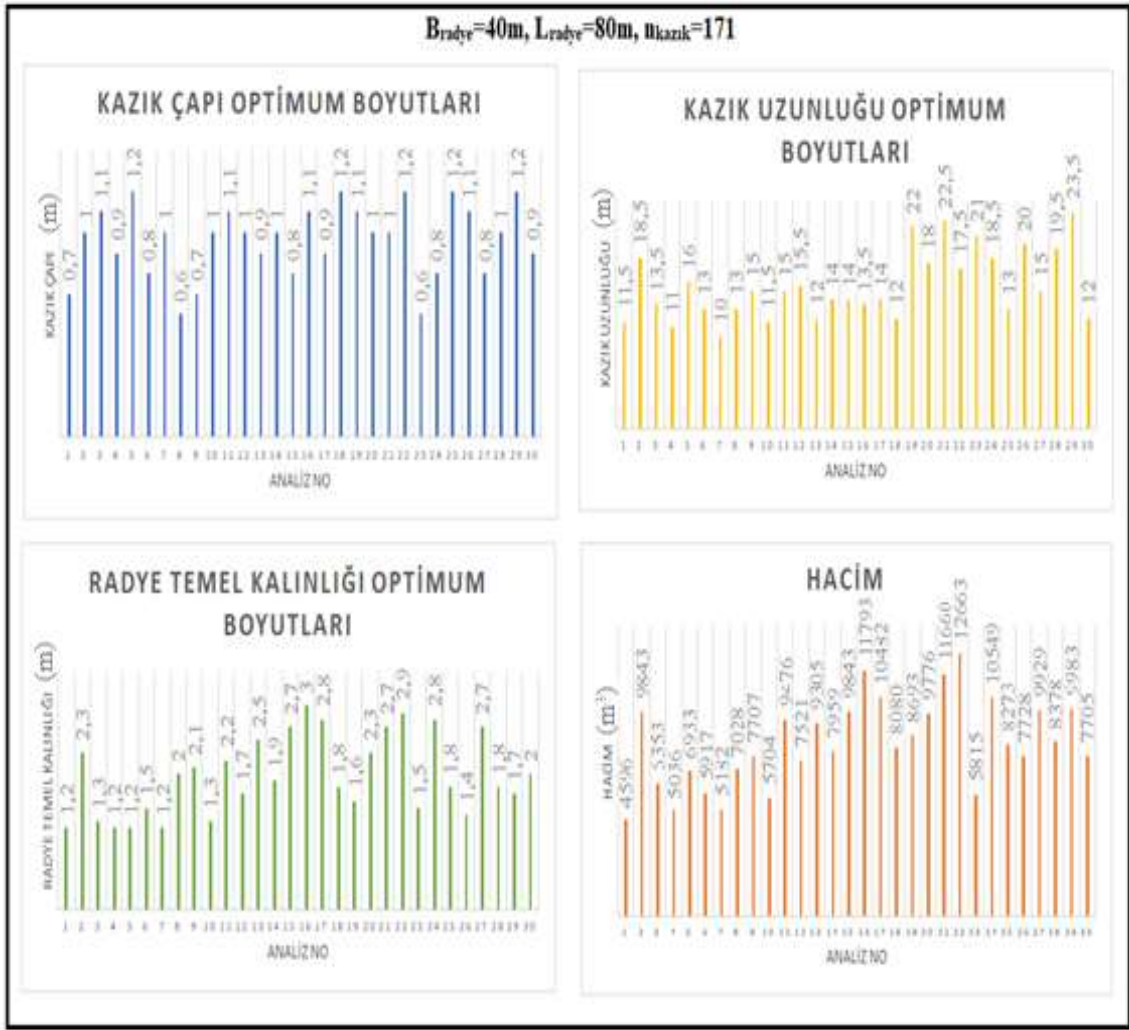
Kazık Yerleşim Düzeni	Kazık Sayısı, $n_{\text{kazık}}$
9x19	171
10x20	200
11x21	231
12x22	264
13x23	299

Özetlemek gerekirse; HAA optimizasyon koduna, algoritma parametreleri Çizelge 8.4' den, zemin ve temel özelliklerini ifade eden parametrelerde Çizelge 8.7, Çizelge 8.8' den alınarak işlenmiştir ve analizler gerçekleştirilmiştir. En iyi olduğu düşünülen 30 analiz sonucu seçilerek çizelgelerle sunulmuştur. İlk olarak radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40$  m,  $L_{\text{radye}}=80$  m ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=171$  olması durumu analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 8.39'da sunulmuştur.

Çizelge 8.39' a göre optimum boyutlar 1 numaralı analiz sonucunda gözlemlenmiştir. Optimum kazık çapı 0,7 m, kazık uzunluğu 11,5 m ve radye temel kalınlığı ise 1,2 m olarak belirlenmiştir. Optimum değerler dikkate alınarak, kazık sayısının 171 olması durumunda, optimum hacim değeri  $4596 \text{ m}^3$  tür. Çizelge 8.39' da yer alan analiz sonuçları Şekil 8.32'de grafiksel olarak tanımlanmıştır.

**Çizelge 8.39.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=171$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
<b>1</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,7</b>	<b>11,5</b>	<b>1,2</b>	<b>4596</b>
2	40	80	1,0	18,5	2,3	9843
3	40	80	1,1	13,5	1,3	6353
4	40	80	0,9	11,0	1,2	5036
5	40	80	1,2	16,0	1,2	6933
6	40	80	0,8	13,0	1,5	5917
7	40	80	1,0	10,0	1,2	5182
8	40	80	0,6	13,0	2,0	7028
9	40	80	0,7	15,0	2,1	7707
10	40	80	1,0	11,5	1,3	5704
11	40	80	1,1	15,0	2,2	9476
12	40	80	1,0	15,5	1,7	7521
13	40	80	0,9	12,0	2,5	9305
14	40	80	1,0	14,0	1,9	7959
15	40	80	0,8	14,0	2,7	9843
16	40	80	1,1	13,5	3,0	11793
17	40	80	0,9	14,0	2,8	10482
18	40	80	1,2	12,0	1,8	8080
19	40	80	1,1	22,0	1,6	8693
20	40	80	1,0	18,0	2,3	9776
21	40	80	1,0	22,5	2,7	11660
22	40	80	1,2	17,5	2,9	12663
23	40	80	0,6	21,0	1,5	5815
24	40	80	0,8	18,5	2,8	10549
25	40	80	1,2	13,0	1,8	8273
26	40	80	1,1	20,0	1,4	7728
27	40	80	0,8	15,0	2,7	9929
28	40	80	1,0	19,5	1,8	8378
29	40	80	1,2	23,5	1,7	9983
30	40	80	0,9	12,0	2,0	7705



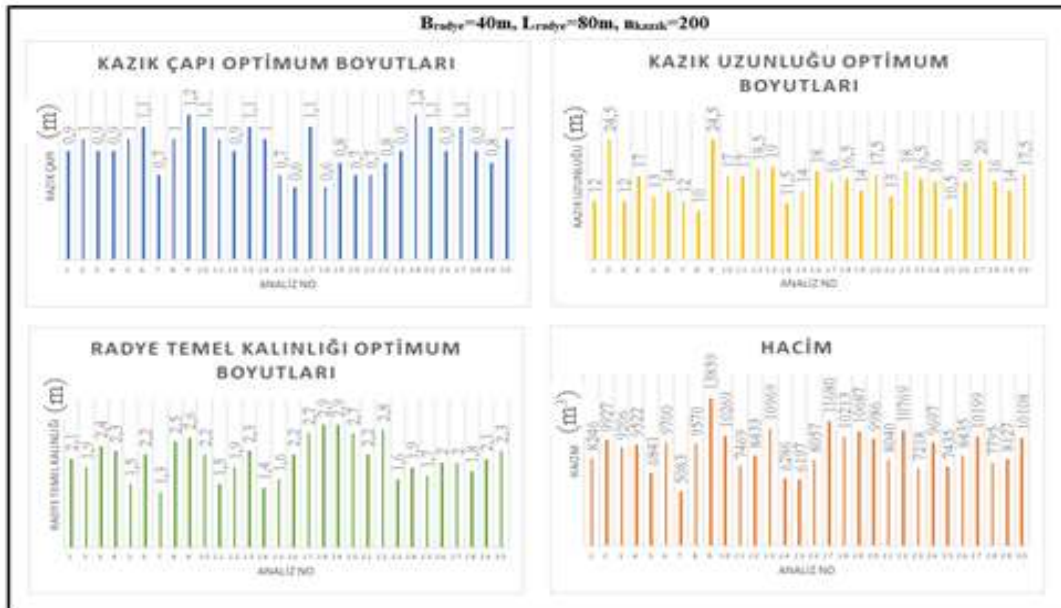
**Şekil 8.32.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=171$ )

Bölüm 8.7.1' de aynı şartlarda ( $B_{\text{radye}}=40\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{ m}$  ve  $n_{\text{kazık}}=171$ ) YAKA kodu ile elde edilen optimum boyut ve hacim değerleri yer almaktadır. Çizelge 8.9' a göre optimum hacim değeri  $4788\text{ m}^3$  tür. Buna göre HAA kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen optimum hacim değeri, YAKA' ya göre %4 daha ekonomiktir.

Çizelge 8.40' ta  $10 \times 20$  kazık yerleşim düzeninde,  $B_{\text{radye}}=40\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{ m}$  ve  $n_{\text{kazık}}=200$  olması durumunda HAA analizleri sonucunda elde edilen analiz sonuçları yer almaktadır. Sonuçlar Şekil 8.33'de gösterilmiştir. Optimum hacim değeri 7 numaralı analizde yer almaktadır ve kazık çapının  $0.7\text{m}$ , kazık uzunluğunun  $12\text{ m}$  ve radye temel kalınlığının  $1.3\text{m}$  olması sonucunda  $5083\text{ m}^3$  olarak elde edilmiştir. Optimum boyutlara göre kazık sayısının  $200$  olması durumunda (Çizelge 8.40), kazık sayısının  $171$  olması duruma göre (Çizelge 8.39), optimum beton hacminde yaklaşık %10' luk bir artış olmuştur.

Çizelge 8.40. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=200$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	40	80	0,9	12,0	2,1	8246
2	40	80	1,0	24,5	1,9	9927
3	40	80	0,9	12,0	2,4	9206
4	40	80	0,9	17,0	2,3	9522
5	40	80	1,0	13,0	1,5	6841
6	40	80	1,1	14,0	2,2	9700
<b>7</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,7</b>	<b>12,0</b>	<b>1,3</b>	<b>5083</b>
8	40	80	1,0	10,0	2,5	9570
9	40	80	1,2	24,5	2,6	13859
10	40	80	1,1	17,0	2,2	10269
11	40	80	1,0	17,0	1,5	7469
12	40	80	0,9	18,5	1,9	8433
13	40	80	1,1	19,0	2,3	10969
14	40	80	1,0	11,5	1,4	6286
15	40	80	0,7	14,0	1,6	6197
16	40	80	0,6	18,0	2,2	8057
17	40	80	1,1	16,0	2,7	11680
18	40	80	0,6	16,5	2,9	10213
19	40	80	0,8	14,0	2,9	10687
20	40	80	0,7	17,5	2,7	9986
21	40	80	0,7	13,0	2,2	8040
22	40	80	0,8	18,0	2,8	10769
23	40	80	0,9	16,5	1,6	7218
24	40	80	1,2	16,0	1,9	9697
25	40	80	1,1	10,5	1,7	7435
26	40	80	0,9	16,0	2,0	8435
27	40	80	1,1	20,0	2,0	10199
28	40	80	0,9	16,0	1,8	7795
29	40	80	0,8	14,0	2,1	8127
30	40	80	1,0	17,5	2,3	10108



Şekil 8.33. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=200$ )



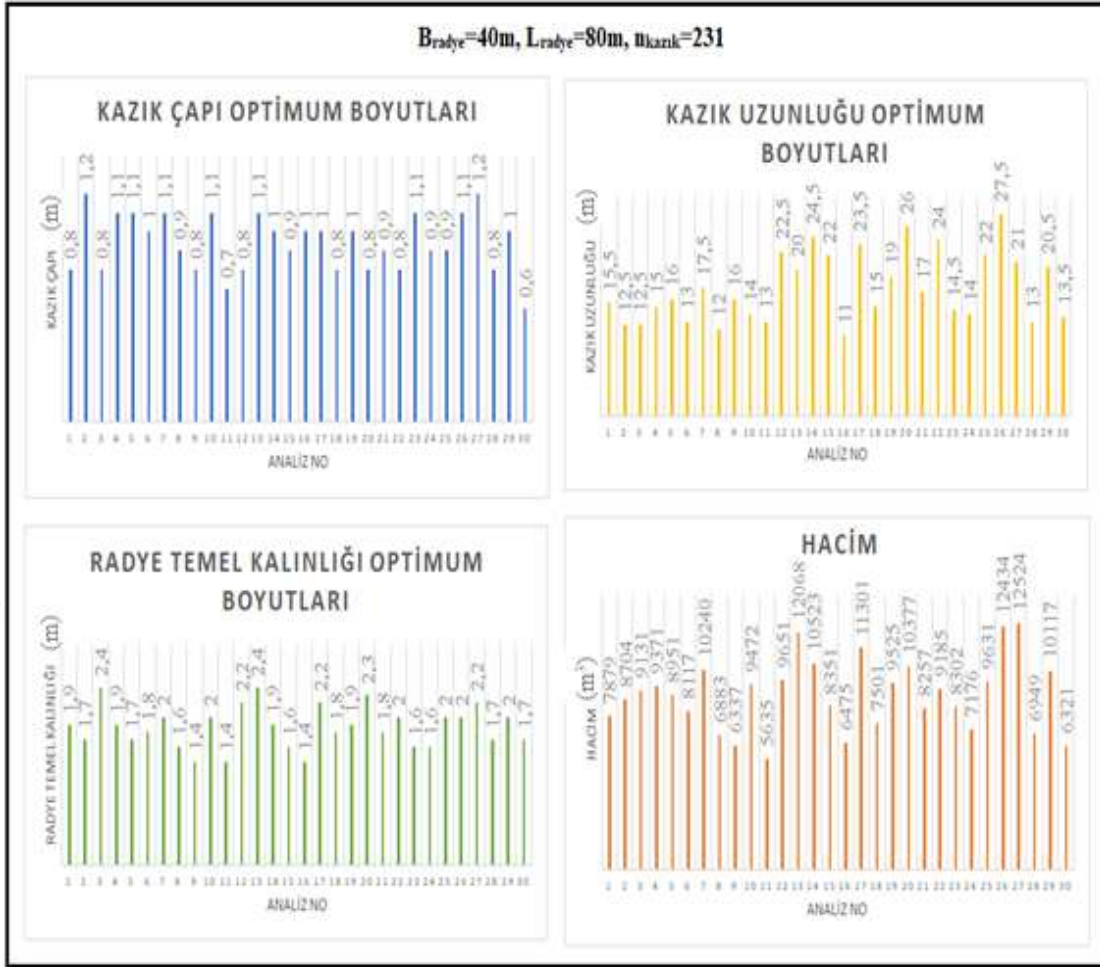
Çizelge 8.10’ da  $B_{\text{radye}}=40$  m,  $L_{\text{radye}}=80$  m ve  $n_{\text{kazık}}=200$  olması durumunda YAKA analizleri ile elde edilen analiz sonuçları sunulmuştur. Çizelge 8.40’ta ise HAA analiz sonuçları yer almaktadır. Buna göre HAA (Çizelge 8.40) ile aynı şartlarda, YAKA’ ya göre (Çizelge 8.10), yaklaşık olarak %5 daha ekonomiktir.

Çizelge 8.41’ de kazık sayısının 231 ve 11x21 yerleşim düzeninde, projenin gerçek radye boyutlarına göre elde edilen analiz sonuçları yer almaktadır. Optimum kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 13.0m ve radye temel kalınlığı 1.4 m olarak 11 numaralı analiz sonucunda gözlemlenmiştir. Denklem 8.1’ e göre optimum boyutlar dikkate alınarak elde edilen optimum beton hacminin değeri ise  $5635 \text{ m}^3$  tür. Sonuçlar grafiklerle Şekil 8.34’te tanımlanmıştır.

**Çizelge 8.41.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=231$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	40	80	0,8	15,5	1,9	7879
2	40	80	1,2	12,5	1,7	8704
3	40	80	0,8	12,5	2,4	9131
4	40	80	1,1	15,0	1,9	9371
5	40	80	1,1	16,0	1,7	8951
6	40	80	1,0	13,0	1,8	8117
7	40	80	1,1	17,5	2,0	10240
8	40	80	0,9	12,0	1,6	6883
9	40	80	0,8	16,0	1,4	6337
10	40	80	1,1	14,0	2,0	9472
<b>11</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,7</b>	<b>13,0</b>	<b>1,4</b>	<b>5635</b>
12	40	80	0,8	22,5	2,2	9651
13	40	80	1,1	20,0	2,4	12068
14	40	80	1,0	24,5	1,9	10523
15	40	80	0,9	22,0	1,6	8351
16	40	80	1,0	11,0	1,4	6475
17	40	80	1,0	23,5	2,2	11301
18	40	80	0,8	15,0	1,8	7501
19	40	80	1,0	19,0	1,9	9525
20	40	80	0,8	26,0	2,3	10377
21	40	80	0,9	17,0	1,8	8257
22	40	80	0,8	24,0	2,0	9185
23	40	80	1,1	14,5	1,6	8302
24	40	80	0,9	14,0	1,6	7176
25	40	80	0,9	22,0	2,0	9631
26	40	80	1,1	27,5	2,0	12434
27	40	80	1,2	21,0	2,2	12524
28	40	80	0,8	13,0	1,7	6949
29	40	80	1,0	20,5	2,0	10117
30	40	80	0,6	13,5	1,7	6321



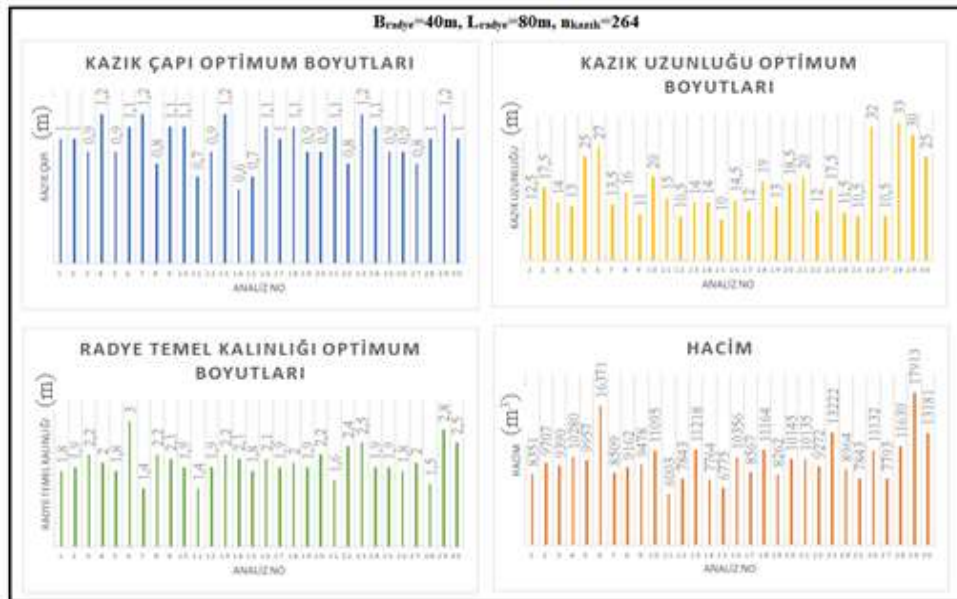


**Şekil 8.34.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=231$ )

Optimum boyutlara göre kazık sayısının 231 olması durumunda (Çizelge 8.41), kazık sayısının 171 olması duruma göre (Çizelge 8.39), optimum beton hacminde %22'lik bir artış olmuştur. YAKA analiz sonuçları (Çizelge 8.11) ile HAA analiz sonuçları (Çizelge 8.41) aynı şartlar için ( $B_{\text{radye}}=40\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{ m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=231$ ) karşılaştırılacak olur ise, HAA yaklaşık olarak %5 daha ekonomik optimum sonuçlar sunmuştur. Çizelge 8.42 ve Şekil 8.35'te  $B_{\text{radye}}=40\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{ m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$  olması durumunda HAA analizleri sonucunda elde edilen optimum boyutlar tanımlanmıştır. 11 numaralı analiz sonuçlarına göre optimum kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 15.0m ve radye temel kalınlığı 1.4m için, optimum hacim değeri  $6003\text{ m}^3$  tür. Kazık sayısının 171'den (Çizelge 8.39), 264'e (Çizelge 8.42) çıkarılması durumunda optimum sonuçlara göre, beton hacminde yaklaşık %31'lik artış meydana gelmiştir.

Çizelge 8.42. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	40	80	1,0	12,5	1,8	8351
2	40	80	1,0	17,5	1,9	9707
3	40	80	0,9	14,0	2,2	9390
4	40	80	1,2	13,0	2,0	10280
5	40	80	0,9	25,0	1,8	9957
6	40	80	1,1	27,0	3,0	16371
7	40	80	1,2	13,5	1,4	8509
8	40	80	0,8	16,0	2,2	9162
9	40	80	1,1	11,0	2,1	9478
10	40	80	1,1	20,0	1,9	11095
<b>11</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,7</b>	<b>15,0</b>	<b>1,4</b>	<b>6003</b>
12	40	80	0,9	10,5	1,9	7843
13	40	80	1,2	14,0	2,2	11218
14	40	80	0,6	14,0	2,1	7764
15	40	80	0,7	10,0	1,8	6775
16	40	80	1,1	14,5	2,1	10356
17	40	80	1,0	12,0	1,9	8567
18	40	80	1,1	19,0	2,0	11164
19	40	80	0,9	13,0	1,9	8262
20	40	80	0,9	18,5	2,2	10145
21	40	80	1,1	20,0	1,6	10135
22	40	80	0,8	12,0	2,4	9272
23	40	80	1,2	17,5	2,5	13222
24	40	80	1,1	11,5	1,9	8964
25	40	80	0,9	10,5	1,9	7843
26	40	80	0,9	32,0	1,8	11132
27	40	80	0,8	10,5	2,0	7793
28	40	80	1,0	33,0	1,5	11639
29	40	80	1,2	30,0	2,8	17913
30	40	80	1,0	25,0	2,5	13181



Şekil 8.35. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

Çizelge 8.42’de analiz edilen radye temel boyutları ve kazık sayısı, birinci projenin gerçek boyutlarıdır. Dolayısı ile projenin gerçek boyutlarına göre kullanılan beton hacmi ile HAA analizleri sonucunda elde edilen optimum hacim değeri yüzdesel olarak kıyaslanabilir. Buna göre, Denklem 8.1 ile projenin gerçek boyutlarına göre beton hacmi şu şekilde hesaplanır.

$$\text{Minimize } V(x) = \sum_{k=1}^{n_{kazik}} \frac{\pi \cdot D_{kazik}^2 \cdot L_{kazik}}{4} + B_{radye} \cdot L_{radye} \cdot t_{radye} \quad (8.1)$$

Burada;

$V(x)$ : Beton hacmi

$D_{kazik}$ : Kazık çapı

$L_{kazik}$ : Kazık boyu

$n_{kazik}$ : Kazık sayısı

$B_{radye}$ : Radyenin genişliği

$L_{radye}$ : Radyenin uzunluğu

$t_{radye}$ : Radyenin kalınlığı

Projenin gerçekteki tasarımında kullanılan parametreleri Çizelge 8.7 ve Çizelge 8.8’ e göre, şu şekilde sıralanmıştır:  $D_{kazik}=0.8\text{m}$ ,  $L_{kazik}=17\text{ m}$ ,  $n_{kazik}=264$ ,  $B_{radye}=40\text{ m}$ ,  $L_{radye}=80\text{ m}$  ve  $t_{radye}=2\text{ m}$ ’ dir. Bu değerlere göre, beton hacmi  $V(x)= 8654\text{ m}^3$  olarak hesaplanır. HAA analizleri ile Çizelge 8.42’ de yer alan en optimum beton hacmi değeri ise,  $6003\text{ m}^3$  tür. Buna göre gerçek boyutlarda yapımı tamamlanan projenin boyutları eğer HAA analiz sonuçlarına göre seçilseydi, beton hacminde yaklaşık olarak, %31’lik bir ekonomiklik sağlanabilecekti. Aynı şartlarda YAKA ile HAA analiz sonuçları karşılaştırılırsa, HAA yaklaşık olarak %5 daha ekonomik beton hacmi değeri sunmuştur.

Çizelge 8.43’ te radye temel boyutları  $B_{radye}=40\text{ m}$  ve  $L_{radye}=80\text{ m}$  olması durumunda, kazık sayısı artırılarak 13x23 yerleşim düzeninde 299 olarak belirlenmiştir ve HAA ile optimizasyon analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 8.43’ te verilmiştir ve Şekil 8.36’da grafiksel olarak tanımlanmıştır.

Seçilen 30 analiz sonucuna göre, optimum hacim değeri 21 numaralı analizde gözlemlenmiştir. Optimum kazık çapı 0.6m, kazık uzunluğu 24.0m ve radye temel

kalınlığı 1.7m'dir ve boyutların Denklem 8.1' de yerine yazılması ile amaç fonksiyonu olan optimum beton hacmi değeri bulunmuştur. Optimum hacim değeri 7468 m<sup>3</sup> tür.

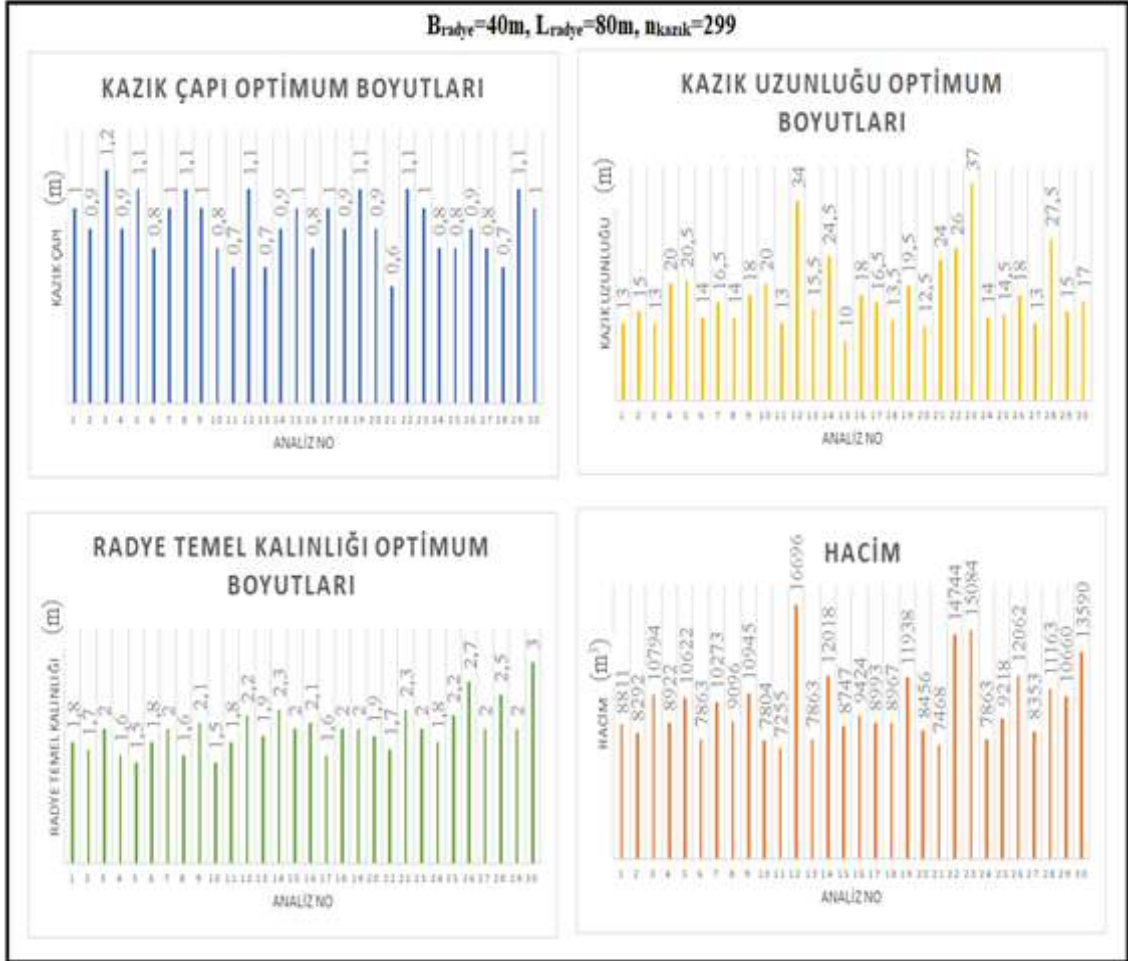
**Çizelge 8.43.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=299$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim (m <sup>3</sup> )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	40	80	1,0	13,0	1,8	8811
2	40	80	0,9	15,0	1,7	8292
3	40	80	1,2	13,0	2,0	10794
4	40	80	0,9	20,0	1,6	8922
5	40	80	1,1	20,5	1,5	10622
6	40	80	0,8	14,0	1,8	7863
7	40	80	1,0	16,5	2,0	10273
8	40	80	1,1	14,0	1,6	9096
9	40	80	1,0	18,0	2,1	10945
10	40	80	0,8	20,0	1,5	7804
11	40	80	0,7	13,0	1,8	7255
12	40	80	1,1	34,0	2,2	16696
13	40	80	0,7	15,5	1,9	7863
14	40	80	0,9	24,5	2,3	12018
15	40	80	1,0	10,0	2,0	8747
16	40	80	0,8	18,0	2,1	9424
17	40	80	1,0	16,5	1,6	8993
18	40	80	0,9	13,5	2,0	8967
19	40	80	1,1	19,5	2,0	11938
20	40	80	0,9	12,5	1,9	8456
<b>21</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>0,6</b>	<b>24,0</b>	<b>1,7</b>	<b>7468</b>
22	40	80	1,1	26,0	2,3	14744
23	40	80	1,0	37,0	2,0	15084
24	40	80	0,8	14,0	1,8	7863
25	40	80	0,8	14,5	2,2	9218
26	40	80	0,9	18,0	2,7	12062
27	40	80	0,8	13,0	2,0	8353
28	40	80	0,7	27,5	2,5	11163
29	40	80	1,1	15,0	2,0	10660
30	40	80	1,0	17,0	3,0	13590

Gerçek boyutlu birinci projenin,  $B_{\text{radye}}=40\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{ m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=299$  için, YAKA (Yapay Arı Koloni Algoritması) ile elde edilen optimum hacim değeri ile aynı şartlarda optimizasyon analizlerinin HAA (Harmoni Arama Algoritması) ile yapılması sonucunda elde edilen optimum hacim değerleri kıyaslanırsa;

- YAKA analiz sonuçları Çizelge 8.13' te yer almaktadır ve optimum hacim değeri 7617 m<sup>3</sup> tür.
- HAA analiz sonuçları Çizelge 8.43' te yer almaktadır ve optimum hacim değeri 7468 m<sup>3</sup> tür.

- Buna göre aynı şartlarda birinci projenin YAKA ve HAA analiz sonuçlarına göre, Harmoni Arama Algoritması, Yapay Arı Koloni Algoritmasından %2 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur.

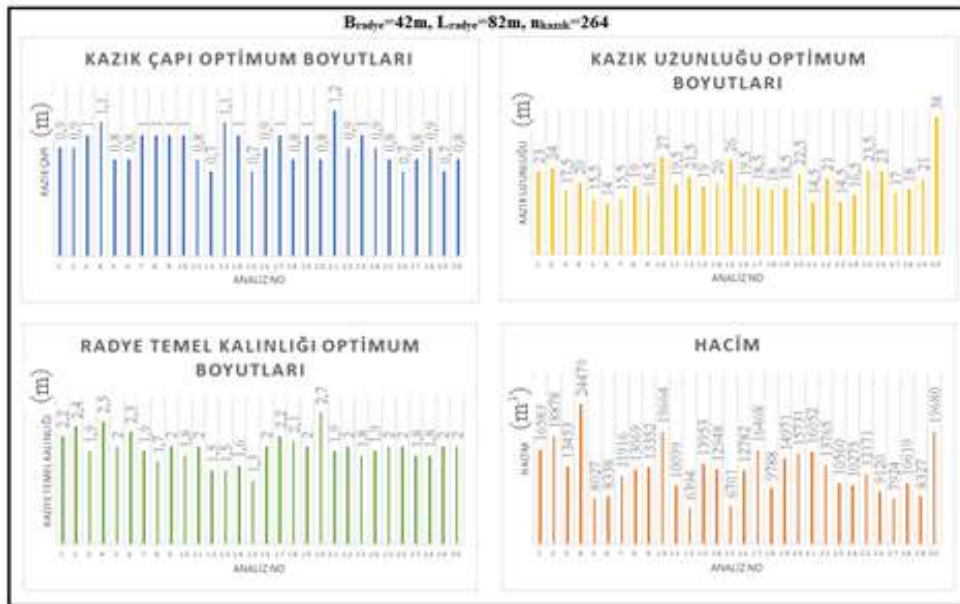


Şekil 8.36. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=40\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=80\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=299$ )

Çizelge 8.44'te ikinci inceleme yaklaşımı olan kazık sayısı sabitken, radye temelin boyutlarının artırılması durumunda, HAA analizleri ile elde edilen analiz sonuçları yer almaktadır. Sonuçlar Şekil 8.37'de grafiklerle tanımlanmıştır. Seçilen ve en iyi olduğu düşünülen 30 analiz sonucuna göre optimum hacim değeri 12 numaralı analizde sunulmuştur. Buna göre optimum boyutlar kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 21.5m, radye temel kalınlığı 1.5m ve hacim değeri 6394 m<sup>3</sup> tür. Çizelge8.14'te yer alan YAKA analiz sonuçları ile Çizelge 8.44' te bulunanHAA analiz sonuçları kıyaslanırsa, HAA analizi ile elde edilen optimum hacim değeri yaklaşık %6 daha ekonomiktir.

Çizelge 8.44. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=42\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=82\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	42	82	0,9	23,0	2,2	16583
2	42	82	0,9	24,0	2,4	18878
3	42	82	1,0	17,5	1,9	13453
4	42	82	1,1	20,0	2,5	24479
5	42	82	0,8	15,5	2,0	8027
6	42	82	0,8	14,0	2,3	8338
7	42	82	1,0	15,5	1,9	11916
8	42	82	1,0	19,0	1,7	13069
9	42	82	1,0	16,5	2,0	13352
10	42	82	1,0	27,0	1,8	19664
11	42	82	0,8	19,5	2,0	10099
<b>12</b>	<b>42</b>	<b>82</b>	<b>0,7</b>	<b>21,5</b>	<b>1,5</b>	<b>6394</b>
13	42	82	1,1	19,0	1,5	13953
14	42	82	1,0	20,0	1,6	12948
15	42	82	0,7	26,0	1,3	6701
16	42	82	0,9	19,5	2,0	12782
17	42	82	1,0	18,5	2,2	16468
18	42	82	0,8	18,0	2,1	9788
19	42	82	1,0	18,5	2,0	14971
20	42	82	0,8	22,5	2,7	15731
21	42	82	1,2	14,5	1,9	16052
22	42	82	0,9	21,0	2,0	13765
23	42	82	1,0	14,5	1,8	10560
24	42	82	0,9	16,5	1,9	10275
25	42	82	0,8	23,5	2,0	12171
26	42	82	0,7	23,0	2,0	9120
27	42	82	0,8	17,0	1,8	7924
28	42	82	0,9	18,0	1,8	10619
29	42	82	0,7	21,0	2,0	8327
30	42	82	0,8	38,0	2,0	19680

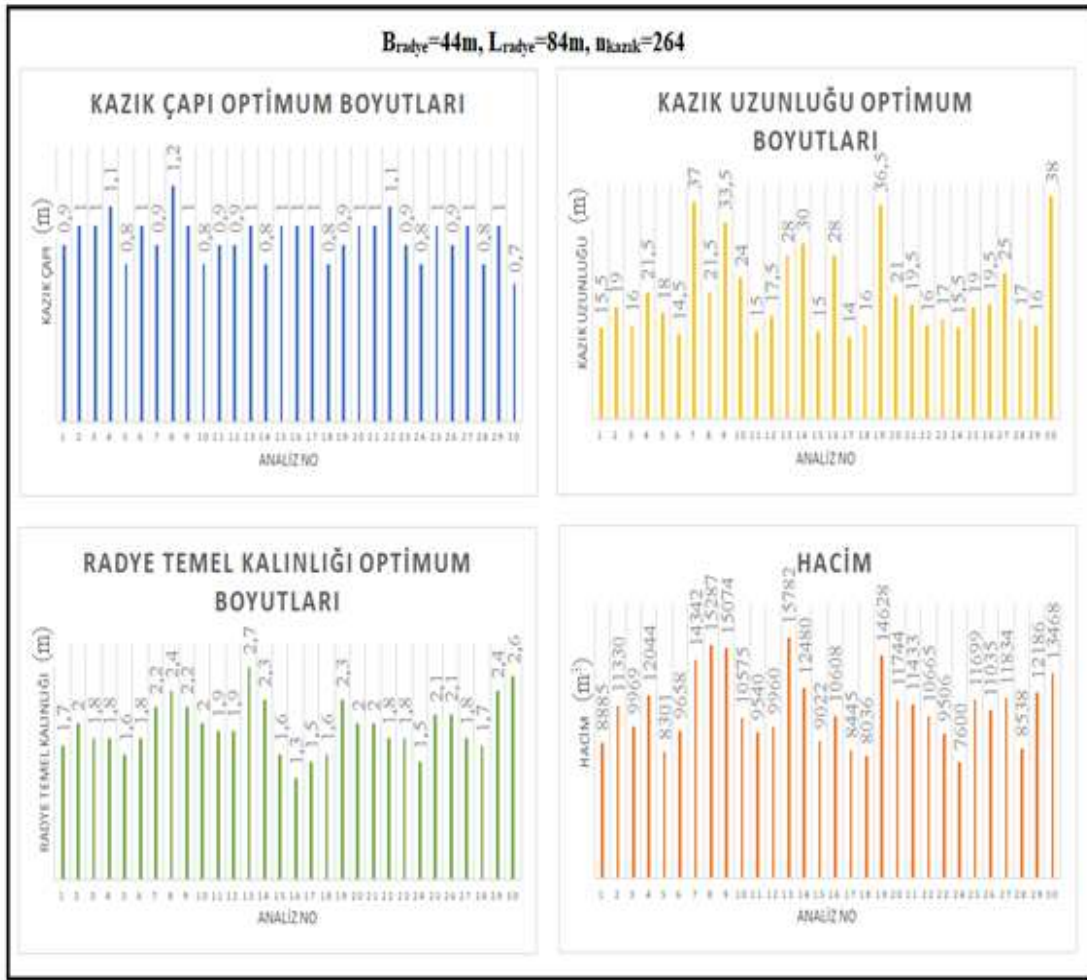
Şekil 8.37. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=42\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=82\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

Çizelge 8.45'te yer alan analiz sonuçlarında radye temel boyutları  $B_{\text{radye}}=44$  m ve  $L_{\text{radye}}=84$  m olması durumunda HAA analizleri ile elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Radye temel boyutlarının bu şekilde seçilmesi, projenin gerçek radye boyutlarına göre radye temel alanında yaklaşık %15.5'lik bir artış oluşturmuştur. Analiz sonuçları grafiklerle Şekil 8.38'de tanımlanmıştır.

**Çizelge 8.45.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=44$ m,  $L_{\text{radye}}=84$ m ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim (m <sup>3</sup> )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	44	84	0,9	15,5	1,7	8885
2	44	84	1,0	19,0	2,0	11330
3	44	84	1,0	16,0	1,8	9969
4	44	84	1,1	21,5	1,8	12044
5	44	84	0,8	18,0	1,6	8301
6	44	84	1,0	14,5	1,8	9658
7	44	84	0,9	37,0	2,2	14342
8	44	84	1,2	21,5	2,4	15287
9	44	84	1,0	33,5	2,2	15074
10	44	84	0,8	24,0	2,0	10575
11	44	84	0,9	15,0	1,9	9540
12	44	84	0,9	17,5	1,9	9960
13	44	84	1,0	28,0	2,7	15782
14	44	84	0,8	30,0	2,3	12480
15	44	84	1,0	15,0	1,6	9022
16	44	84	1,0	28,0	1,3	10608
17	44	84	1,0	14,0	1,5	8445
18	44	84	0,8	16,0	1,6	8036
19	44	84	0,9	36,5	2,3	14628
20	44	84	1,0	21,0	2,0	11744
21	44	84	1,0	19,5	2,0	11433
22	44	84	1,1	16,0	1,8	10665
23	44	84	0,9	17,0	1,8	9506
<b>24</b>	<b>44</b>	<b>84</b>	<b>0,8</b>	<b>15,5</b>	<b>1,5</b>	<b>7600</b>
25	44	84	1,0	19,0	2,1	11699
26	44	84	0,9	19,5	2,1	11035
27	44	84	1,0	25,0	1,8	11834
28	44	84	0,8	17,0	1,7	8538
29	44	84	1,0	16,0	2,4	12186
30	44	84	0,7	38,0	2,6	13468

Analiz sonuçlarına göre optimum hacim değeri 24 numaralı analizde gözlemlenmiştir. Optimum hacim değeri 7600 m<sup>3</sup> tür. Aynı şartlarda gerçekleştirilen YAKA analiz sonuçları Çizelge 8.15 yer almaktadır ve optimum beton hacmi 7770 m<sup>3</sup> tür. Buna göre algoritma analiz sonuçları arasında HAA, beton kullanım miktarında, yaklaşık %3 daha fazla ekonomik bir hacim değeri sonucu vermiştir.



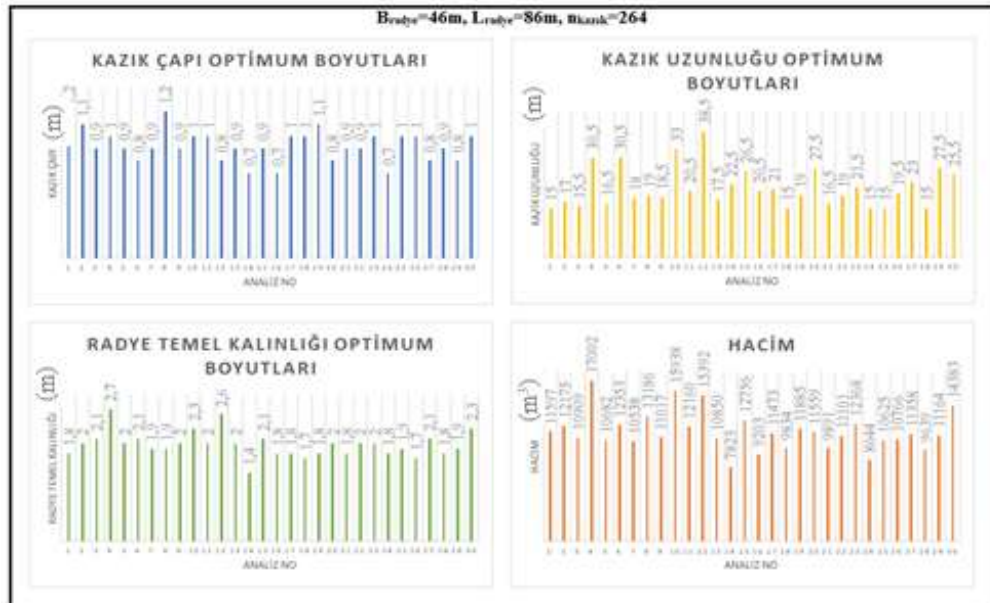
**Şekil 8.38.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=44\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=84\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

Radye temel boyutlarının  $B_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=86\text{m}$  seçilmesi sonucunda HAA analizleri ile elde edilen sonuçlar Çizelge 8.46' da sunulmuştur ve Şekil 8.39 ile grafiklerle tanımlanmıştır. Optimum boyutlar kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 22.5m ve radye temel kalınlığı 1.4m olarak 14 numaralı analiz sonucundadır. Optimum hacim değeri amaç fonksiyonuna göre  $7823\text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Projenin gerçek boyutlarına göre kazık çapında %12.5'lik, radye temel kalınlığında ise %30'luk bir ekonomi sağlamıştır. Eğer kazıklı radye temel boyutları gerçek projede  $B_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=86\text{m}$ ,  $D_{\text{kazık}}=0.8\text{m}$ ,  $L_{\text{kazık}}=17\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$  ve  $t_{\text{radye}}=2\text{ m}$  olarak seçilirse, projenin beton hacmi Denklem 8.1' e göre  $V(x)=10167\text{ m}^3$  olur. Buna göre Çizelge 8.46' da elde edilen optimum hacim değeri ile  $V(x)=10167\text{ m}^3$  kıyaslanırsa, beton hacminde yaklaşık olarak %23' lük bir ekonomiklik gözlemlenmiştir. Aynı şartlarda analiz edilen, YAKA optimum hacim değeri ile HAA optimum hacim değeri kıyaslanırsa, HAA yaklaşık olarak %3 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur.



Çizelge 8.46. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=86\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	46	86	1,2	15,0	1,8	11597
2	46	86	1,1	17,0	2	12175
3	46	86	0,9	15,5	2,1	10909
4	46	86	1,0	30,5	2,7	17002
5	46	86	0,9	16,5	2,0	10682
6	46	86	0,8	30,5	2,1	12353
7	46	86	0,9	18,0	1,9	10538
8	46	86	1,2	19,0	1,9	13186
9	46	86	0,9	18,5	2,0	11017
10	46	86	1,0	33,0	2,3	15938
11	46	86	1,0	20,5	2,0	12160
12	46	86	0,8	38,5	2,6	15392
13	46	86	0,9	17,5	2,0	10850
<b>14</b>	<b>46</b>	<b>86</b>	<b>0,7</b>	<b>22,5</b>	<b>1,4</b>	<b>7823</b>
15	46	86	0,9	26,5	2,1	12756
16	46	86	0,7	20,5	1,8	9203
17	46	86	1,0	21,0	1,8	11473
18	46	86	1,0	15,0	1,7	9834
19	46	86	1,1	19,0	1,8	11885
20	46	86	0,8	27,5	2,0	11559
21	46	86	0,9	16,5	1,8	9891
22	46	86	0,9	19,0	2,0	11101
23	46	86	1,0	21,5	2,0	12368
24	46	86	0,7	15,0	1,8	8644
25	46	86	1,0	15,0	1,9	10625
26	46	86	1,0	19,5	1,7	10766
27	46	86	0,8	23,0	2,1	11358
28	46	86	0,9	15,0	1,8	9639
29	46	86	0,8	27,5	1,9	11164
30	46	86	1,0	25,5	2,3	14383



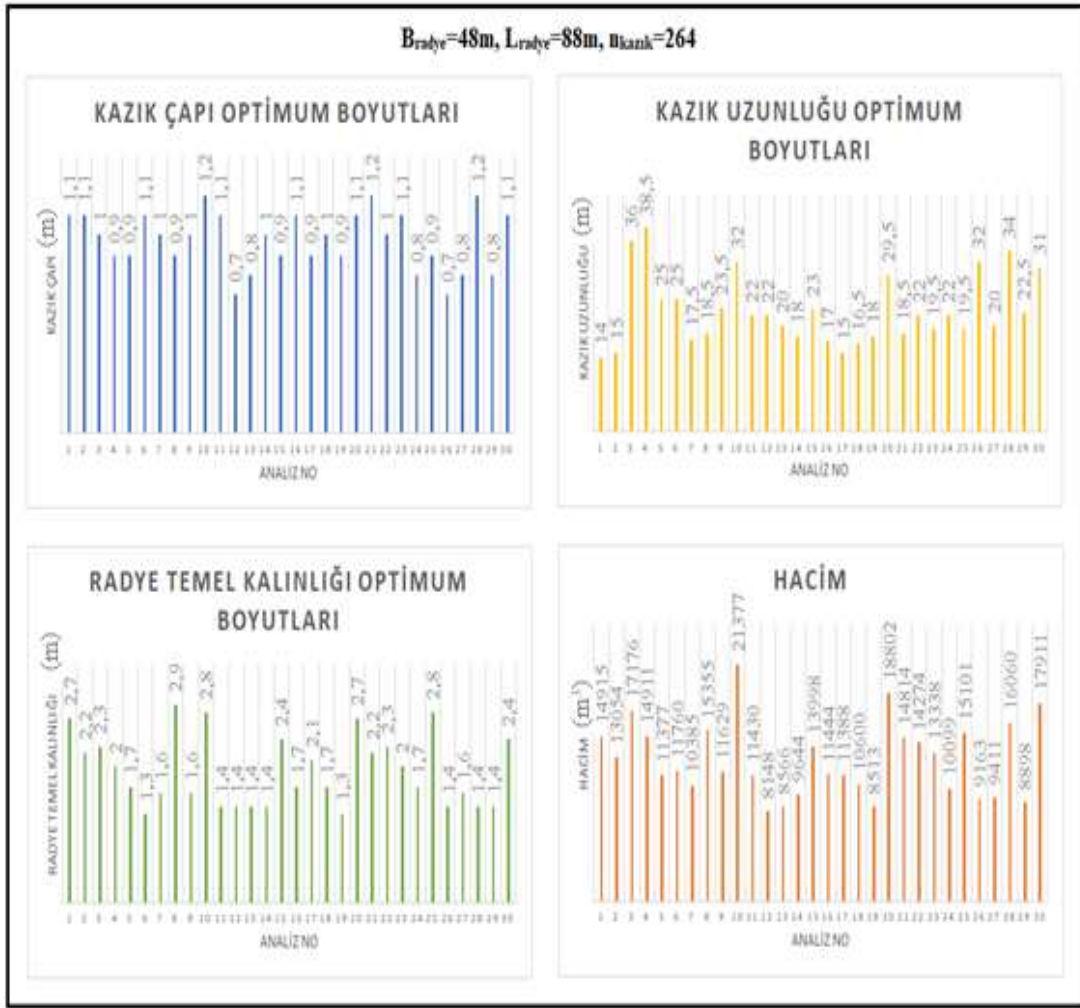
Şekil 8.39. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=86\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

**Çizelge 8.47.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=48\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=88\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	48	88	1,1	14,0	2,7	14915
2	48	88	1,1	15,0	2,2	13054
3	48	88	1,0	36,0	2,3	17176
4	48	88	0,9	38,5	2,0	14911
5	48	88	0,9	25,0	1,7	11377
6	48	88	1,1	25,0	1,3	11760
7	48	88	1,0	17,5	1,6	10385
8	48	88	0,9	18,5	2,9	15355
9	48	88	1,0	23,5	1,6	11629
10	48	88	1,2	32,0	2,8	21377
11	48	88	1,1	22,0	1,4	11430
<b>12</b>	<b>48</b>	<b>88</b>	<b>0,7</b>	<b>22,0</b>	<b>1,4</b>	<b>8148</b>
13	48	88	0,8	20,0	1,4	8566
14	48	88	1,0	18,0	1,4	9644
15	48	88	0,9	23,0	2,4	13998
16	48	88	1,1	17,0	1,7	11444
17	48	88	0,9	15,0	2,1	11388
18	48	88	1,0	16,5	1,7	10600
19	48	88	0,9	18,0	1,3	8513
20	48	88	1,1	29,5	2,7	18802
21	48	88	1,2	18,5	2,2	14814
22	48	88	1,0	22,0	2,3	14274
23	48	88	1,1	19,5	2,0	13338
24	48	88	0,8	22,0	1,7	10099
25	48	88	0,9	19,5	2,8	15101
26	48	88	0,7	32,0	1,4	9163
27	48	88	0,8	20,0	1,6	9411
28	48	88	1,2	34,0	1,4	16060
29	48	88	0,8	22,5	1,4	8898
30	48	88	1,1	31,0	2,4	17911

Şekil 8.40 ve Çizelge 8.47' de, radye alanının, projenin gerçekteki radye alanına göre %32' lik bir artış olması durumunda ki sonuçlar sunulmuştur. Eğer gerçek projede radye alanı Çizelge 8.47' deki gibi seçilseydi beton hacmi  $10703 \text{ m}^3$  olarak bulunur. HAA analiz sonuçlarına göre optimum boyut ve hacim değeri Çizelge 8.47' de 12 numaralı analiz sonucunda yer almaktadır. Çizelge 8.47' de gösterildiği üzere optimum hacim değeri,  $B_{\text{radye}}=48 \text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=88 \text{ m}$  olması durumunda,  $8148 \text{ m}^3$  olarak tespit edilmiştir. Buna göre gerçekteki beton hacmi ile optimum beton hacmi arasında %24' lük bir azalış meydana gelmiştir.

Aynı şartlarda YAKA ile gerçekleştirilen analiz sonuçları Çizelge 8.17 ve Şekil 8.15'te yer almaktadır. Buna göre YAKA analiz sonuçları (Çizelge 8.17) ile HAA analiz sonuçları (Çizelge 8.47) karşılaştırılırsa, HAA analiz sonucu, YAKA' ya göre yaklaşık %4'lük bir ekonomiklik oluşturmuştur.



Şekil 8.40. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=48\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=88\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=264$ )

### 8.7.5. Gerçek boyutlu ikinci projenin HAA ile optimizasyonu

Bölüm 8.7.2’de yapımı tamamlanan gerçek boyutlu uygulama projesinin genel özellikleri, Çizelge 8.18 ve Çizelge 8.19’da sunulmuştur. Buna göre gerçek boyutlu ikinci projenin genel özellikleri;  $D_{\text{kazık}}=0.8\text{m}$ ,  $L_{\text{kazık}}=32\text{m}$ , kazıklar arası mesafe 2m, kazık yerleşim düzeni 13x18 ve kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}=234$ ’tür.

YAKA analizleri ile uyumlu olarak HAA analizleri içinde aynı iki yaklaşım benimsenmiş ve ilk olarak kazık sayısı değiştirilerek optimizasyon analizleri yapılmıştır. Daha sonraki adımda ise, kazık sayısı sabit tutularak radye temel boyutları değiştirilerek analizler yapılmış ve optimum boyutlar incelenmiştir. Kazık sayısı değişiminde, sırası ile kazık sayısı; 176, 204, 234 ve 266 olarak belirlenmiştir. HAA analiz sonuçları Çizelge 8.48, Çizelge 8.49, Çizelge 8.50, Çizelge 8.51’de sunulmuştur. Radye boyutlarının değişiminde ise;  $B_{\text{radye}}=27\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{ m}$ ;  $B_{\text{radye}}=29\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48\text{ m}$ ;  $B_{\text{radye}}=31\text{ m}$ ,

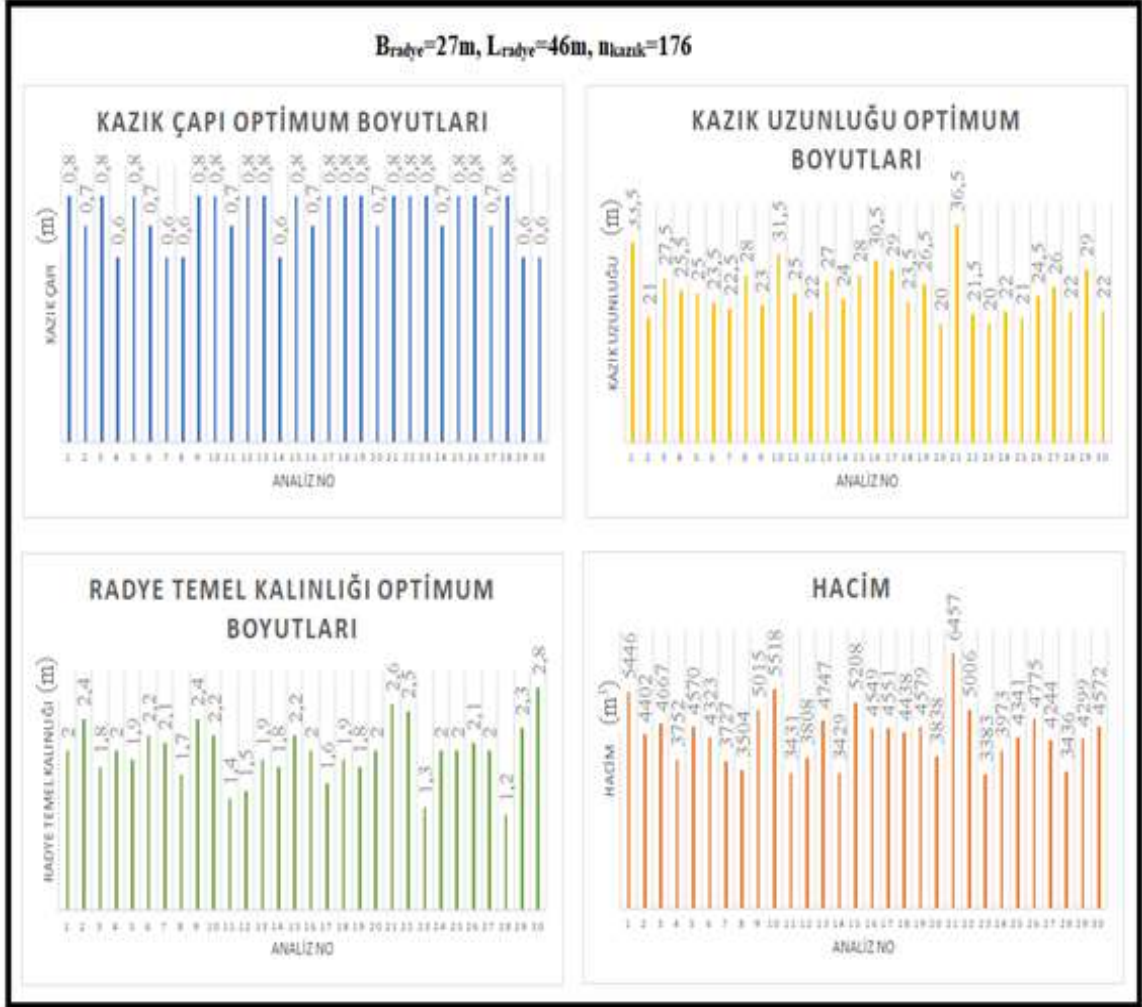
$L_{\text{radye}}=50$  m,  $B_{\text{radye}}=33$  m,  $L_{\text{radye}}=52$  m olarak radye boyutları seçilmiştir ve sonuçlar Çizelge 8.50, Çizelge 8.52, Çizelge 8.53, Çizelge 8.54'te yer almaktadır. Optimizasyon analizleri sonucunda en iyi çözüm olduğu düşünülen 30 analiz sonucu seçilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen optimum boyutlu kazıklı radye temel tasarımlarının, temel sistemindeki kazık yerleşim düzeni EK-4'de sunulmuştur. İlk olarak kazık sayısı 176 olarak, 11x16 yerleşim düzeninde seçilmiş ve optimizasyon analizleri HAA ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 8.48 ve Şekil 8.41'de yer almaktadır. Optimum boyutlar 28 numaralı analizde gözlemlenmiştir. Optimum boyutlara göre kazık çapı 0.8m, kazık uzunluğu 20.5m, ve radye temel kalınlığı 1.2m'dir. Bu değerlere göre optimum beton hacmi  $3303 \text{ m}^3$  olarak tespit edilmiştir.

**Çizelge 8.48.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=176$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	27	46	0,8	33,5	2,0	5446
2	27	46	0,7	21,0	2,4	4402
3	27	46	0,8	27,5	1,8	4667
4	27	46	0,6	25,5	2,0	3752
5	27	46	0,8	25,0	1,9	4570
6	27	46	0,7	23,5	2,2	4323
7	27	46	0,6	22,5	2,1	3727
8	27	46	0,6	28,0	1,7	3504
9	27	46	0,8	23,0	2,4	5015
10	27	46	0,8	31,5	2,2	5518
11	27	46	0,7	25,0	1,4	3431
12	27	46	0,8	22,0	1,5	3808
13	27	46	0,8	27,0	1,9	4747
14	27	46	0,6	24,0	1,8	3429
15	27	46	0,8	28,0	2,2	5208
16	27	46	0,7	30,5	2,0	4549
17	27	46	0,8	29,0	1,6	4551
18	27	46	0,8	23,5	1,9	4438
19	27	46	0,8	26,5	1,8	4579
20	27	46	0,7	20,0	2,0	3838
21	27	46	0,8	36,5	2,6	6457
22	27	46	0,8	21,5	2,5	5006
<b>23</b>	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>20,5</b>	<b>1,2</b>	<b>3303</b>
24	27	46	0,7	22,0	2,0	3973
25	27	46	0,8	21,0	2,0	4341
26	27	46	0,8	24,5	2,1	4775
27	27	46	0,7	26,0	2,0	4244
28	27	46	0,8	22,0	1,2	3436
29	27	46	0,6	29,0	2,3	4299
30	27	46	0,6	22,0	2,8	4572

$B_{\text{radye}}=27$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m ve  $n_{\text{kazık}}=176$  olması durumunda YAKA analizleri sonucunda (Çizelge 8.21) optimum beton hacmi  $3471 \text{ m}^3$  olarak tespit edilmiştir.

Aynı şartlarda HAA analiz sonuçlarına (Çizelge 8.48) göre optimum beton hacmi 3303 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Buna göre HAA, YAKA' ya göre %5 daha ekonomik sonuçlar vermiştir.



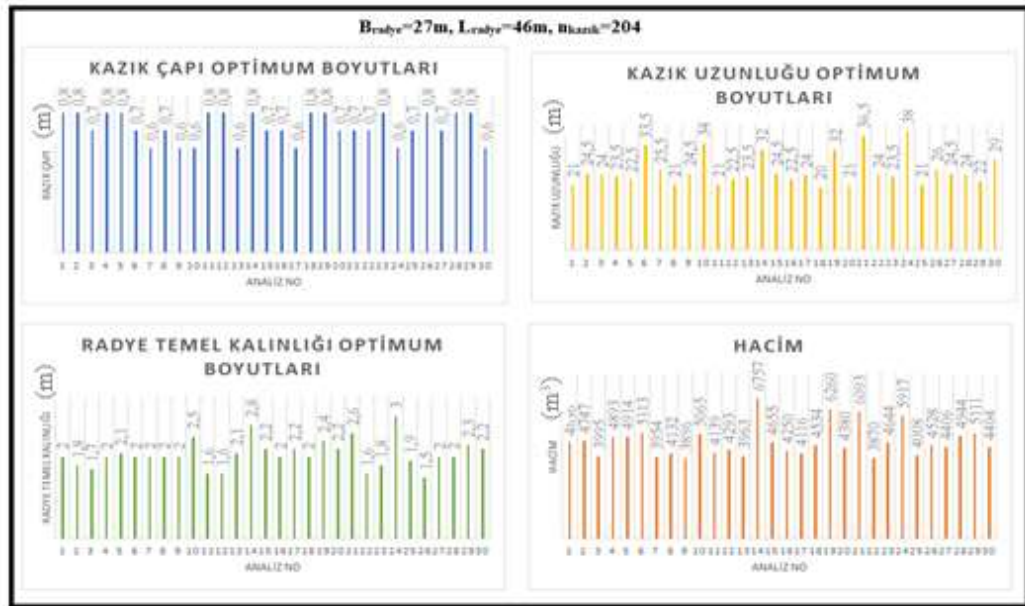
Şekil 8.41. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri (B<sub>radye</sub>=27m, L<sub>radye</sub>=46m, n<sub>kazık</sub>=176)

Radye boyutlarının, projenin gerçek boyutlarına göre seçilmesi durumunda kazık sayısı n<sub>kazık</sub>=204 olursa, HAA analizleri ile elde edilen sonuçlar Çizelge 8.49 ve Şekil 8.42'de gösterildiği üzere elde edilmiştir. Optimum boyutlar ve hacim değeri 22 numaralı analizde sunulmuştur. Optimum hacim değeri 3870 m<sup>3</sup> tür.

Aynı şartlarda YAKA analiz sonuçlarına göre (Çizelge 8.22) optimum hacim değeri 4053 m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Buna göre HAA (Harmoni Arama Algoritması), YAKA'ya (Yapay Arı Koloni Algoritması) göre %4.5 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur.

Çizelge 8.49. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=204$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	27	46	0,8	21,0	2,0	4636
2	27	46	0,8	24,5	1,8	4747
3	27	46	0,7	24,0	1,7	3995
4	27	46	0,8	23,5	2,0	4893
5	27	46	0,8	22,5	2,1	4914
6	27	46	0,7	33,5	2,0	5113
7	27	46	0,6	25,5	2,0	3954
8	27	46	0,7	21,0	2,0	4132
9	27	46	0,6	24,5	2,0	3896
10	27	46	0,6	34,0	2,5	5065
11	27	46	0,8	21,0	1,6	4139
12	27	46	0,8	22,5	1,6	4293
13	27	46	0,6	23,5	2,1	3963
14	27	46	0,8	32,0	2,8	6757
15	27	46	0,7	24,5	2,2	4655
16	27	46	0,7	22,5	2,0	4250
17	27	46	0,6	24,0	2,2	4116
18	27	46	0,8	20,0	2,0	4534
19	27	46	0,8	32,0	2,4	6260
20	27	46	0,7	21,0	2,2	4380
21	27	46	0,7	36,5	2,6	6093
<b>22</b>	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>0,7</b>	<b>24,0</b>	<b>1,6</b>	<b>3870</b>
23	27	46	0,8	23,5	1,8	4644
24	27	46	0,6	38,0	3,0	5917
25	27	46	0,7	21,0	1,9	4008
26	27	46	0,8	26,0	1,5	4528
27	27	46	0,7	24,5	2,0	4406
28	27	46	0,8	24,0	2,0	4944
29	27	46	0,8	22,0	2,3	5111
30	27	46	0,6	29,0	2,2	4404

Şekil 8.42. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=204$ )

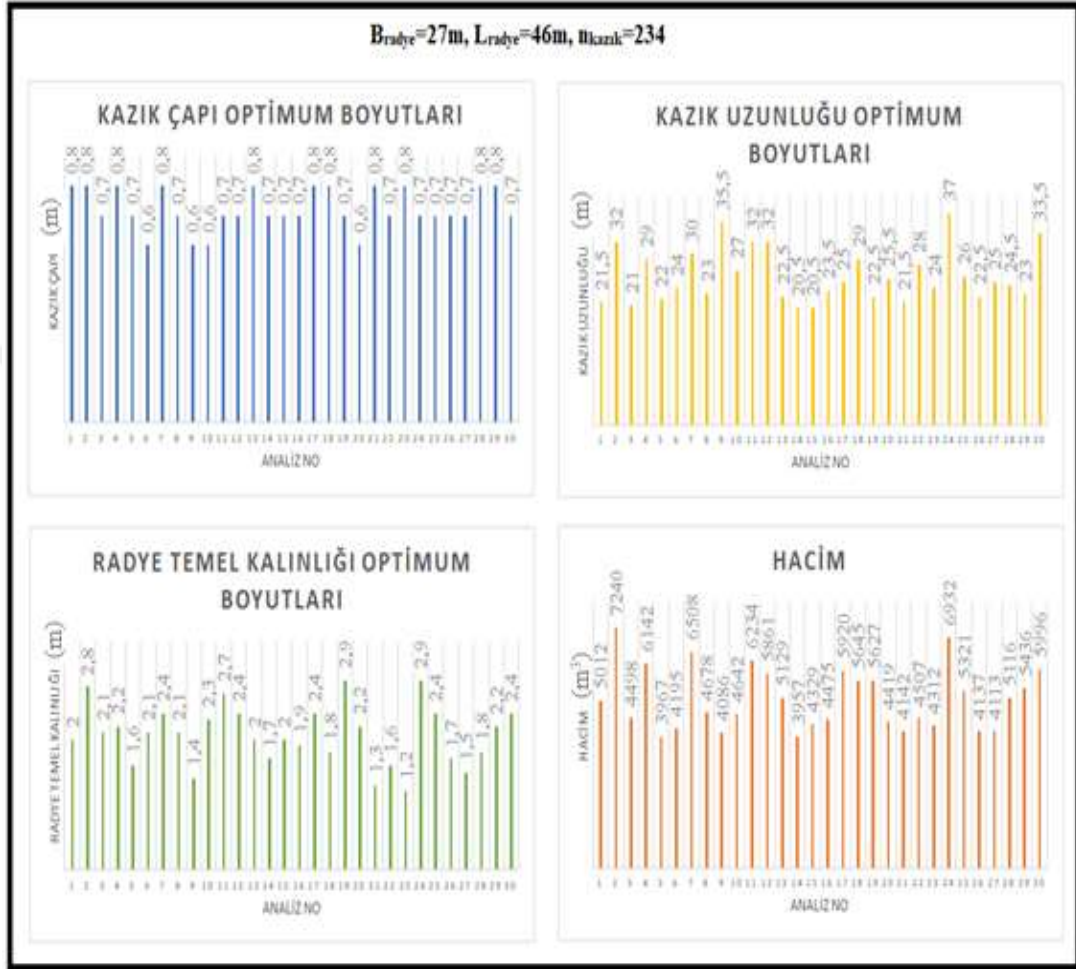
Projenin gerçek boyutları Çizelge 8.18 ve Çizelge 8.19’da yer almaktadır. Buna göre Çizelge 8.50’de projenin gerçek boyutlarıyla uyumlu olarak,  $B_{\text{radye}}=27$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m ve  $n_{\text{kazık}}=234$  şeklinde seçilmiştir. HAA ile gerçekleştirilen optimizasyon analizlerinde elde edilen boyutlar ve optimum hacim değeri Çizelge 8.50’ de tanımlanmıştır. Sonuçlar grafiklerle Şekil 8.43’de sunulmuştur. Çizelge 8.50’ ye göre optimum kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 20.5m ve radye temel kalınlığı 1.7m ve hacim değeri ise  $3957 \text{ m}^3$  olarak tespit edilmiştir. Kazık çapında %12.5’lik bir azalım, kazık uzunluğunda %36’lık bir azalım ve radye temel kalınlığında %32’lik bir azalım gözlemlenmiştir.

**Çizelge 8.50.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=234$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	27	46	0,8	21,5	2,0	5012
2	27	46	0,8	32,0	2,8	7240
3	27	46	0,7	21,0	2,1	4498
4	27	46	0,8	29,0	2,2	6142
5	27	46	0,7	22,0	1,6	3967
6	27	46	0,6	24,0	2,1	4195
7	27	46	0,8	30,0	2,4	6508
8	27	46	0,7	23,0	2,1	4678
9	27	46	0,6	35,5	1,4	4086
10	27	46	0,6	27,0	2,3	4642
11	27	46	0,7	32,0	2,7	6234
12	27	46	0,7	32,0	2,4	5861
13	27	46	0,8	22,5	2,0	5129
<b>14</b>	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>0,7</b>	<b>20,5</b>	<b>1,7</b>	<b>3957</b>
15	27	46	0,7	20,5	2,0	4329
16	27	46	0,7	23,5	1,9	4475
17	27	46	0,8	25,0	2,4	5920
18	27	46	0,8	29,0	1,8	5645
19	27	46	0,7	22,5	2,9	5627
20	27	46	0,6	25,5	2,2	4419
21	27	46	0,8	21,5	1,3	4142
22	27	46	0,7	28,0	1,6	4507
23	27	46	0,8	24,0	1,2	4312
24	27	46	0,7	37,0	2,9	6932
25	27	46	0,7	26,0	2,4	5321
26	27	46	0,7	22,5	1,7	4137
27	27	46	0,7	25,0	1,5	4113
28	27	46	0,8	24,5	1,8	5116
29	27	46	0,8	23,0	2,2	5436
30	27	46	0,7	33,5	2,4	5996

Projenin gerçek boyutlarına göre kullanılan beton hacmi  $V(x)=6869 \text{ m}^3$  tür. HAA’ya göre optimum hacim değeri  $3957 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Buna göre HAA optimum boyutları ile beton hacminde yaklaşık %42’lik bir ekonomiklik sağlanmıştır.

YAKA analiz sonuçlarına göre ise projenin gerçek boyutları ile elde edilen optimum hacim değeri  $4154 \text{ m}^3$  (Çizelge 8.23) olarak tespit edilmiştir. Harmoni Arama Algoritması (HAA) ve Yapay Arı Koloni Algoritması (YAKA) kıyaslanır ise, HAA yaklaşık olarak %4.7 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur.



Şekil 8.43. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=234$ )

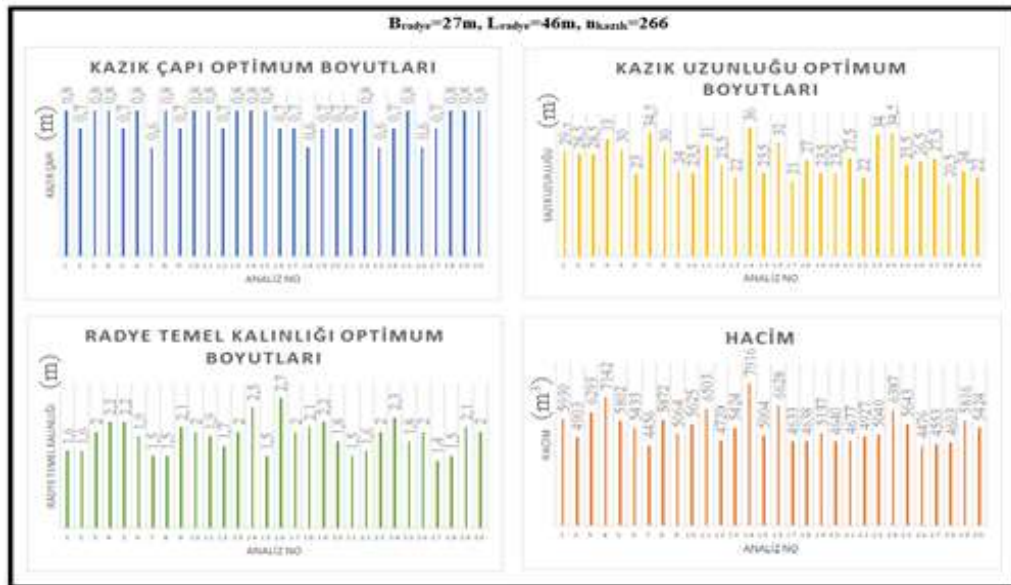
Şekil 8.44'de ve Çizelge 8.51' de kazık sıısının  $14 \times 19$  yerleşim düzeninde 266 olması durumunda, HAA ile elde edilen optimizasyon sonuçları yer almaktadır. Optimum boyutlar 7 numaralı analiz sonucunda sunulmuştur. HAA sonuçlarına göre optimum hacim değeri  $4456 \text{ m}^3$  olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 8.24'te aynı koşullarda gerçekleştirilen YAKA analiz sonuçları verilmiştir. YAKA'da optimum beton hacmi  $4656 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre analiz sonuçları farklı iki algoritma için değerlendirilecek olursa; HAA (Harmoni Arama Algoritması), YAKA'ya (Yapay Arı Koloni Algoritması) göre yaklaşık %4 daha ekonomik bir tasarım modeli sunmuştur.



Çizelge 8.51. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=266$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	27	46	0,8	29,5	1,6	5930
2	27	46	0,7	28,5	1,6	4903
3	27	46	0,8	28,5	2,0	6293
4	27	46	0,8	33,0	2,2	7142
5	27	46	0,7	30,0	2,2	5802
6	27	46	0,8	23,0	1,9	5433
7	<b>27</b>	<b>46</b>	<b>0,6</b>	<b>34,5</b>	<b>1,5</b>	<b>4456</b>
8	27	46	0,8	30,0	1,5	5872
9	27	46	0,7	24,0	2,1	5064
10	27	46	0,8	23,5	2,0	5625
11	27	46	0,8	31,0	1,9	6503
12	27	46	0,7	25,5	1,7	4720
13	27	46	0,8	22,0	2,0	5424
14	27	46	0,8	36,0	2,5	7916
15	27	46	0,8	23,5	1,5	5004
16	27	46	0,7	32,0	2,7	6628
17	27	46	0,7	21,0	2,0	4633
18	27	46	0,6	27,0	2,1	4638
19	27	46	0,7	23,5	2,2	5137
20	27	46	0,7	23,5	1,8	4640
21	27	46	0,7	27,5	1,5	4677
22	27	46	0,8	22,0	1,6	4927
23	27	46	0,6	34,0	2,0	5040
24	27	46	0,7	34,5	2,3	6387
25	27	46	0,8	25,5	1,8	5643
26	27	46	0,6	26,5	2,0	4476
27	27	46	0,7	27,5	1,4	4553
28	27	46	0,8	20,5	1,5	4603
29	27	46	0,8	24,0	2,1	5816
30	27	46	0,8	22,0	2,0	5424



Şekil 8.44. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=27\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=266$ )

Gerçek boyutlu ikinci projenin HAA analizlerinde, ikinci yaklaşıma göre radye temel boyutları artırılarak kazık sayısı sabit tutulmuş ve optimum boyutları ve hacim değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 8.52 ve Şekil 8.45'te  $B_{\text{radye}}=29$  m,  $L_{\text{radye}}=48$  m, Çizelge 8.53 ve Şekil 8.46'da  $B_{\text{radye}}=31$  m,  $L_{\text{radye}}=50$  m, Çizelge 8.54 ve Şekil 8.47'de ise  $B_{\text{radye}}=33$  m,  $L_{\text{radye}}=52$  m olması durumunda HAA ile gerçekleştirilen optimizasyon analiz sonuçları tanımlanmıştır.

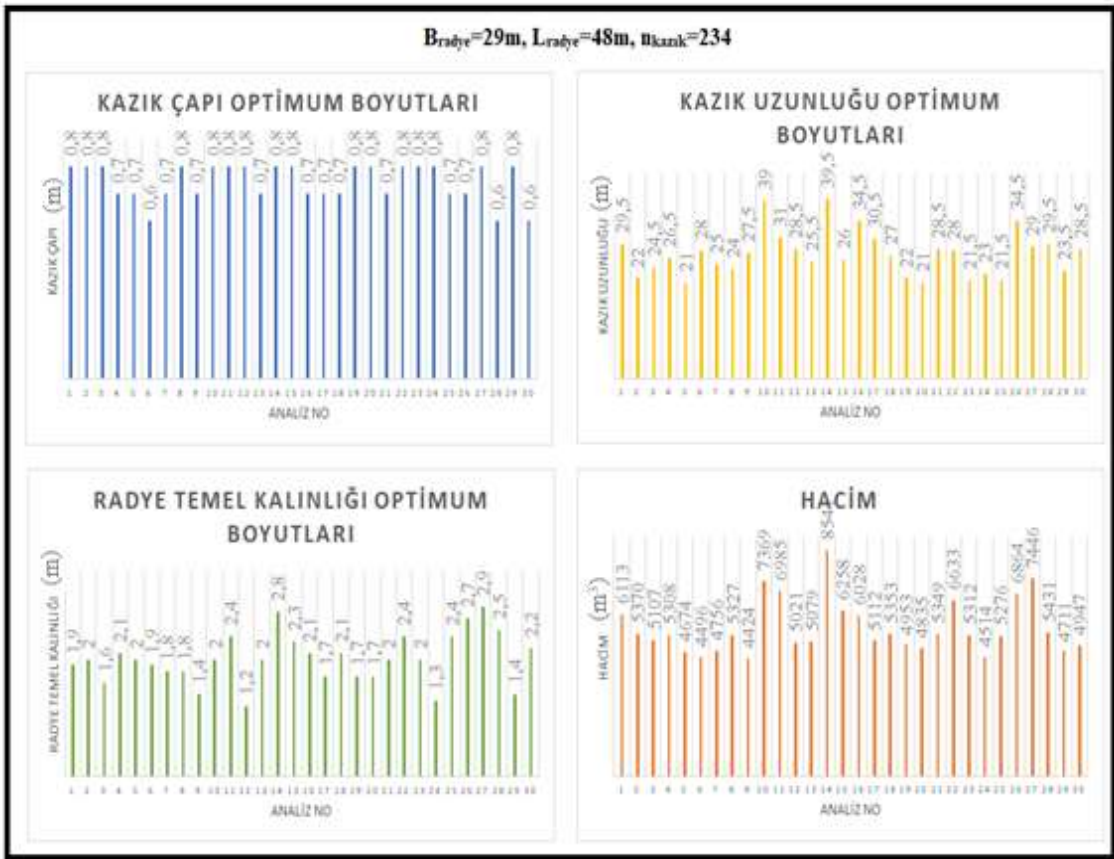
**Çizelge 8.52.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=29$ m,  $L_{\text{radye}}=48$ m ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=234$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim (m <sup>3</sup> )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	29	48	0,8	29,5	1,9	6113
2	29	48	0,8	22,0	2,0	5370
3	29	48	0,8	24,5	1,6	5107
4	29	48	0,7	26,5	2,1	5308
5	29	48	0,7	21,0	2,0	4674
6	29	48	0,6	28,0	1,9	4496
7	29	48	0,7	25,0	1,8	4756
8	29	48	0,8	24,0	1,8	5327
<b>9</b>	<b>29</b>	<b>48</b>	<b>0,7</b>	<b>27,5</b>	<b>1,4</b>	<b>4424</b>
10	29	48	0,8	39,0	2,0	7369
11	29	48	0,8	31,0	2,4	6985
12	29	48	0,8	28,5	1,2	5021
13	29	48	0,7	25,5	2,0	5079
14	29	48	0,8	39,5	2,8	8541
15	29	48	0,8	26,0	2,3	6258
16	29	48	0,7	34,5	2,1	6028
17	29	48	0,7	30,5	1,7	5112
18	29	48	0,7	27,0	2,1	5353
19	29	48	0,8	22,0	1,7	4953
20	29	48	0,8	21,0	1,7	4835
21	29	48	0,7	28,5	2,0	5349
22	29	48	0,8	28,0	2,4	6633
23	29	48	0,8	21,5	2,0	5312
24	29	48	0,8	23,0	1,3	4514
25	29	48	0,7	21,5	2,4	5276
26	29	48	0,7	34,5	2,7	6864
27	29	48	0,8	29,0	2,9	7446
28	29	48	0,6	29,5	2,5	5431
29	29	48	0,8	23,5	1,4	4711
30	29	48	0,6	28,5	2,2	4947

İkinci yaklaşıma göre artırılan radye boyutlarına bağlı olarak, ilk tasarım modeli ile yapılan HAA analiz sonuçları Çizelge 8.52' de yer almaktadır. Optimum boyutlar ve hacim değeri sonuçları 9 numaralı analizde gözlemlenmiştir. Optimum kazık çapı 0.7m, 27.5m, radye temel kalınlığı 1.4m ve bu boyutlara göre optimum hacim değeri 4424 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Sonuçlar grafiklerle Şekil 8.45'te yer almaktadır.

$B_{\text{radye}}=29$  m,  $L_{\text{radye}}=48$  m olması durumunda, YAKA ile elde edilen sonuçlar Çizelge 8.25'te yer almaktadır ve optimum hacim değeri  $4649 \text{ m}^3$  tür. Bu sonuca göre metasezgisel iki algoritma olan HAA ve YAKA karşılaştırılırsa, yaklaşık %4 daha ekonomik bir çözüm sunmuştur.

Çizelge 8.52' de analizleri gerçekleştirilen radye temel alanı, projenin gerçek radye temel alanına göre %12'lik bir artış olmuştur. Çizelge 8.50'de projenin gerçek boyutlarına göre ( $B_{\text{radye}}=27$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m) elde edilen HAA analiz sonuçları sunulmuştur ve optimum hacim değeri  $3957 \text{ m}^3$  tür. Yukarıda da bahsedildiği gibi  $B_{\text{radye}}=29$  m,  $L_{\text{radye}}=48$  m olması durumunda optimum hacim değeri  $4649 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Sonuçlar radye temel alanı değişimine göre yorumlanacak olursa; optimum boyutlara göre, radye temel alanındaki %12' lik artış, optimum hacim değerinde yaklaşık %15' lik bir artış meydana getirmiştir.

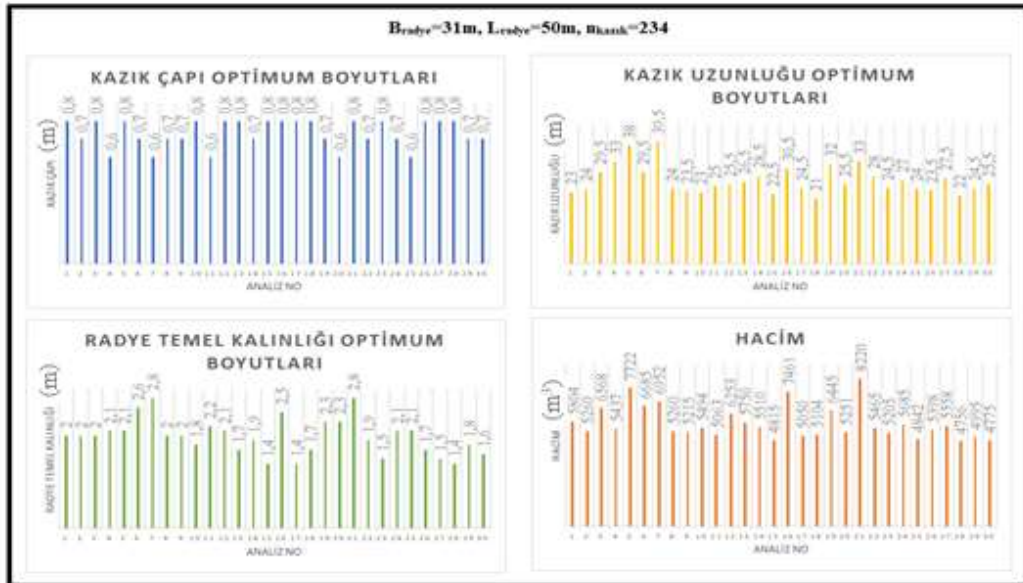


**Şekil 8.45.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=29\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=234$ )

Şekil 8.46 ve Çizelge 8.53'te  $B_{\text{radye}}=31$  m,  $L_{\text{radye}}=50$  m olması durumunda HAA ile elde edilen analiz sonuçları yer almaktadır. 28 numaralı sonuçlara göre optimum hacim değeri  $4756 \text{ m}^3$  tür.

Çizelge 8.53. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=31\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=50\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=234$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	31	50	0,8	23,0	2,0	5804
2	31	50	0,7	24,0	2,0	5260
3	31	50	0,8	29,5	2,0	6568
4	31	50	0,6	33,0	2,1	5437
5	31	50	0,8	38,0	2,1	7722
6	31	50	0,7	29,5	2,6	6685
7	31	50	0,6	39,5	2,8	6952
8	31	50	0,7	24,0	2,0	5260
9	31	50	0,7	23,5	2,0	5215
10	31	50	0,8	23,0	1,8	5494
11	31	50	0,6	25,0	2,2	5063
12	31	50	0,8	25,5	2,1	6253
13	31	50	0,8	26,5	1,7	5750
14	31	50	0,7	28,5	1,9	5510
15	31	50	0,8	22,5	1,4	4815
16	31	50	0,8	30,5	2,5	7461
17	31	50	0,8	24,5	1,4	5050
18	31	50	0,8	21,0	1,7	5104
19	31	50	0,7	32,0	2,3	6445
20	31	50	0,6	25,5	2,3	5251
21	31	50	0,8	33,0	2,8	8220
22	31	50	0,7	28,0	1,9	5465
23	31	50	0,8	24,5	1,5	5205
24	31	50	0,7	27,0	2,1	5685
25	31	50	0,6	24,0	2,1	4842
26	31	50	0,8	23,5	1,7	5398
27	31	50	0,8	27,5	1,5	5558
<b>28</b>	<b>31</b>	<b>50</b>	<b>0,8</b>	<b>22,0</b>	<b>1,4</b>	<b>4756</b>
29	31	50	0,7	24,5	1,8	4995
30	31	50	0,7	25,5	1,6	4775

Şekil 8.46. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=31\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=50\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=234$ )

Çizelge 8.53'te analizleri gerçekleştirilen radye temel alanı, projenin gerçek boyutlarına göre %20' lik bir artış meydana getirmiştir. HAA analizlerine göre,  $B_{\text{radye}}=27$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m (Çizelge 8.50) olması durumunda optimum hacim değeri  $3957 \text{ m}^3$ ,  $B_{\text{radye}}=31$  m,  $L_{\text{radye}}=50$  m (Çizelge 8.53) olması durumunda optimum hacim değeri  $4756 \text{ m}^3$  tür. Buna göre analizler sonucunda elde edilen optimum sonuçlar dikkate alınır, radye temel alanında ki %20' lik artış, optimum hacim değerinde %17' lik bir artışa neden olmuştur.

**Çizelge 8.54.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=33\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=234$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	33	52	0,8	20,5	1,5	4984
2	33	52	0,8	23,5	1,8	5851
3	33	52	0,7	23,5	2,0	5547
4	33	52	0,8	23,0	1,7	5621
5	33	52	0,8	30,0	2,3	7474
6	33	52	0,7	22,5	2,0	5457
7	33	52	0,6	27,0	2,3	5732
8	33	52	0,6	35,0	2,9	7291
9	33	52	0,7	28,5	2,4	6684
10	33	52	0,7	32,0	2,7	7513
<b>11</b>	<b>33</b>	<b>52</b>	<b>0,7</b>	<b>24,5</b>	<b>1,6</b>	<b>4951</b>
12	33	52	0,8	24,0	2,0	6253
13	33	52	0,6	33,5	2,8	7020
14	33	52	0,6	23,5	2,0	4986
15	33	52	0,8	21,0	1,8	5558
16	33	52	0,8	28,0	1,8	6381
17	33	52	0,7	25,0	1,7	5167
18	33	52	0,8	36,0	2,7	8865
19	33	52	0,8	23,0	1,7	5621
20	33	52	0,7	29,0	2,5	6900
21	33	52	0,7	24,0	2,2	5935
22	33	52	0,8	30,5	2,4	7704
23	33	52	0,8	25,0	2,1	6543
24	33	52	0,7	34,0	2,6	7522
25	33	52	0,6	21,0	2,1	4992
26	33	52	0,8	21,0	2,1	6072
27	33	52	0,8	24,5	1,8	5969
28	33	52	0,8	23,0	2,1	6308
29	33	52	0,6	29,0	2,1	5521
30	33	52	0,7	24,0	1,8	5249

Çizelge 8.54'te HAA analizlerine göre  $B_{\text{radye}}=33$  m,  $L_{\text{radye}}=52$  m iken, elde edilen optimum boyutlar tanımlanmıştır. 11 numaralı analiz sonucuna göre, optimum hacim değeri  $4951 \text{ m}^3$  tür. Aynı şartlarda YAKA analiz sonuçları ise Çizelge 8.27' de sunulmuştur. Çizelge 8.27' ye göre YAKA analizleri ile optimum hacim değeri  $4998 \text{ m}^3$

olarak bulunmuştur. Şekil 8.47’de, Çizelge 8.54’te yer alan veriler grafiklerle tanımlanmıştır.



Şekil 8.47. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=33\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=234$ )

### 8.7.6. Gerçek boyutlu üçüncü projenin HAA ile optimizasyonu

Gerçek boyutlu üçüncü projenin genel yapı ve zemin özellikleri Bölüm 8.7.3’te Çizelge 8.28 ve Çizelge 8.29’ da tanımlanmıştır. Proje aynı şekilde iki yaklaşımla YAKA ve HAA metasezgisel algoritmaları ile analiz edilmiş, optimum boyut ve hacim değerleri hesaplanmıştır.

- İlk yaklaşıma göre radye temel boyutları proje boyutlarına uygun olarak sabit tutulmuş ve kazık sayıları farklı yerleşim düzeninde değiştirilmiştir. Yani radye temel boyutları  $B_{\text{radye}}=35\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{ m}$  iken (Çizelge 8.30) kazık sayısı  $10 \times 14$  yerleşim düzeninde 140,  $11 \times 15$  yerleşim düzeninde 165,  $12 \times 16$  yerleşim

düzeninde 192 ve 13x17 yerleşim düzeninde 221 olarak seçilmiş ve HAA ile analiz edilmiştir.

- İkinci yaklaşımda ise, kazık sayısı projenin kazık sayısı ve yerleşim düzeni ile uyumlu seçilerek, radye temel boyutlarının değişimi durumunda, optimum beton hacminin değişimi incelenmiştir. Radye boyutları,  $B_{\text{radye}}=35$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m (Çizelge 8.57);  $B_{\text{radye}}=37$  m,  $L_{\text{radye}}=48$  m (Çizelge 8.59);  $B_{\text{radye}}=39$  m,  $L_{\text{radye}}=50$  m (Çizelge 8.60);  $B_{\text{radye}}=41$  m,  $L_{\text{radye}}=52$  m (Çizelge 8.61) şeklinde tanımlanarak optimizasyon analizleri HAA metasezgisel algoritması ile gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen optimum boyutlu kazıklı radye temel tasarımlarının, temel sistemindeki kazık yerleşim düzeni EK-6' da sunulmuştur.
- Ayrıca her iki durumda da elde edilen analiz sonuçları algoritmalar arasında da (YAKA ve HAA) yüzdesele olarak kıyaslanmıştır.

Projenin genel özelliklerini özetlemek gerekirse: Çizelge 8.28' e göre, radye boyutları  $B_{\text{radye}}=35$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m ve radye temel kalınlığı  $t_{\text{radye}}=2$  m' dir. Kazık çapı 0.8m ve kazık uzunluğu ise 23m olarak tasarlanmıştır. Kazıklar arası mesafe 2.4m' dir. Kazık sayısı 12x16 yerleşim düzeninde  $n_{\text{kazık}}=192$  olarak seçilmiştir. Tanımlanan genel zemin ve yapı parametreleri, Denklem 8.1 ile ifade edilen ve kullanılan beton hacminin hesaplanma formülü olan amaç fonksiyonunda yerine yazılırsa, gerçek boyutlu üçüncü projenin gerçekte kullanılan beton hacmi  $V(x)= 5439$  m<sup>3</sup> olarak bulunur.

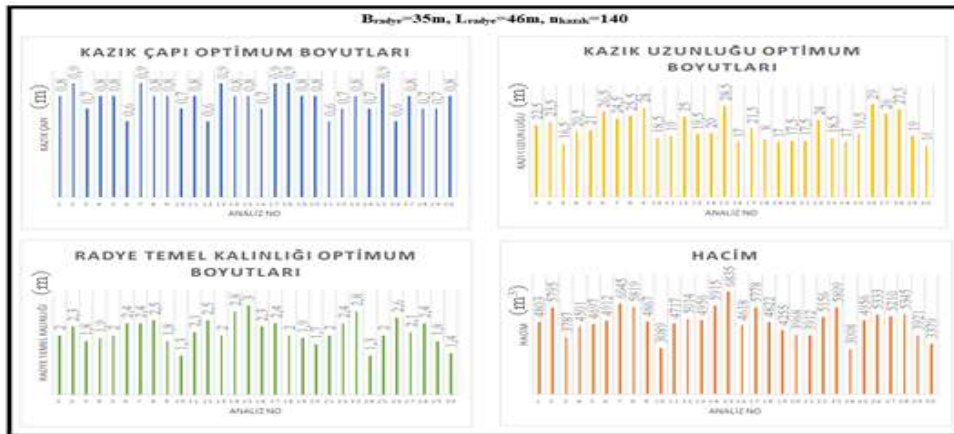
İlk yaklaşıma göre kazık sayısı değiştirilerek optimum boyut ve hacim değerleri bulunmuştur. Radye boyutları  $B_{\text{radye}}=35$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m ve kazık sayısı 10x14 yerleşim düzeninde 140 iken HAA analizi sonuçları Çizelge 8.55' te tanımlanmıştır ve grafikleri Şekil 8.48' de gösterilmiştir. Optimum boyutlar 24 numaralı analiz sonuçlarında yer almaktadır ve kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 17 m, radye temel kalınlığı ise 1.3m' dir.

Boyutların amaç fonksiyonunda tanımlanması sonucunda optimum hacim değeri 3008 m<sup>3</sup> tür. Aynı şartlarda YAKA analizlerinde, Çizelge 8.31' de tanımlandığı üzere optimum kazık çapı 0.7m, kazık uzunluğu 17.5m ve radye temel kalınlığı 1.4m' dir. Optimum beton hacmi ise 3196 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca Çizelge 8.31 (26 numaralı analiz sonucu) ve Çizelge 8.55' te (24 numaralı analiz sonucu) sunulan en optimum beton hacmi değerleri YAKA ve HAA analizleri ile kıyaslanırsa, HAA yaklaşık olarak %5 daha ekonomik bir sonuç vermiştir.

**Çizelge 8.55.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=140$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	35	46	0,8	22,5	2,0	4803
2	35	46	0,9	23,5	2,3	5795
3	35	46	0,7	16,5	1,8	3787
4	35	46	0,8	20,5	1,9	4501
5	35	46	0,8	21,0	2,0	4697
6	35	46	0,6	26,5	2,4	4912
7	35	46	0,9	24,5	2,4	6045
8	35	46	0,8	25,5	2,5	5819
9	35	46	0,8	28,0	1,8	4867
10	35	46	0,7	18,5	1,3	3089
11	35	46	0,8	19,0	2,1	4717
12	35	46	0,6	25,0	2,5	5014
13	35	46	0,9	19,5	2,0	4956
14	35	46	0,8	20,0	2,8	5915
15	35	46	0,8	28,5	3,0	6835
16	35	46	0,7	17,0	2,3	4618
17	35	46	0,9	21,5	2,4	5778
18	35	46	0,9	18,0	2,0	4822
19	35	46	0,8	17,0	1,9	4255
20	35	46	0,8	17,5	1,7	3968
21	35	46	0,6	17,5	2,0	3912
22	35	46	0,7	24,0	2,4	5156
23	35	46	0,8	18,5	2,8	5809
<b>24</b>	<b>35</b>	<b>46</b>	<b>0,7</b>	<b>17,0</b>	<b>1,3</b>	<b>3008</b>
25	35	46	0,9	19,5	2,0	4956
26	35	46	0,6	29,0	2,6	5333
27	35	46	0,8	26,0	2,1	5210
28	35	46	0,7	27,5	2,4	5345
29	35	46	0,7	19,0	1,8	3921
30	35	46	0,8	16,0	1,4	3379



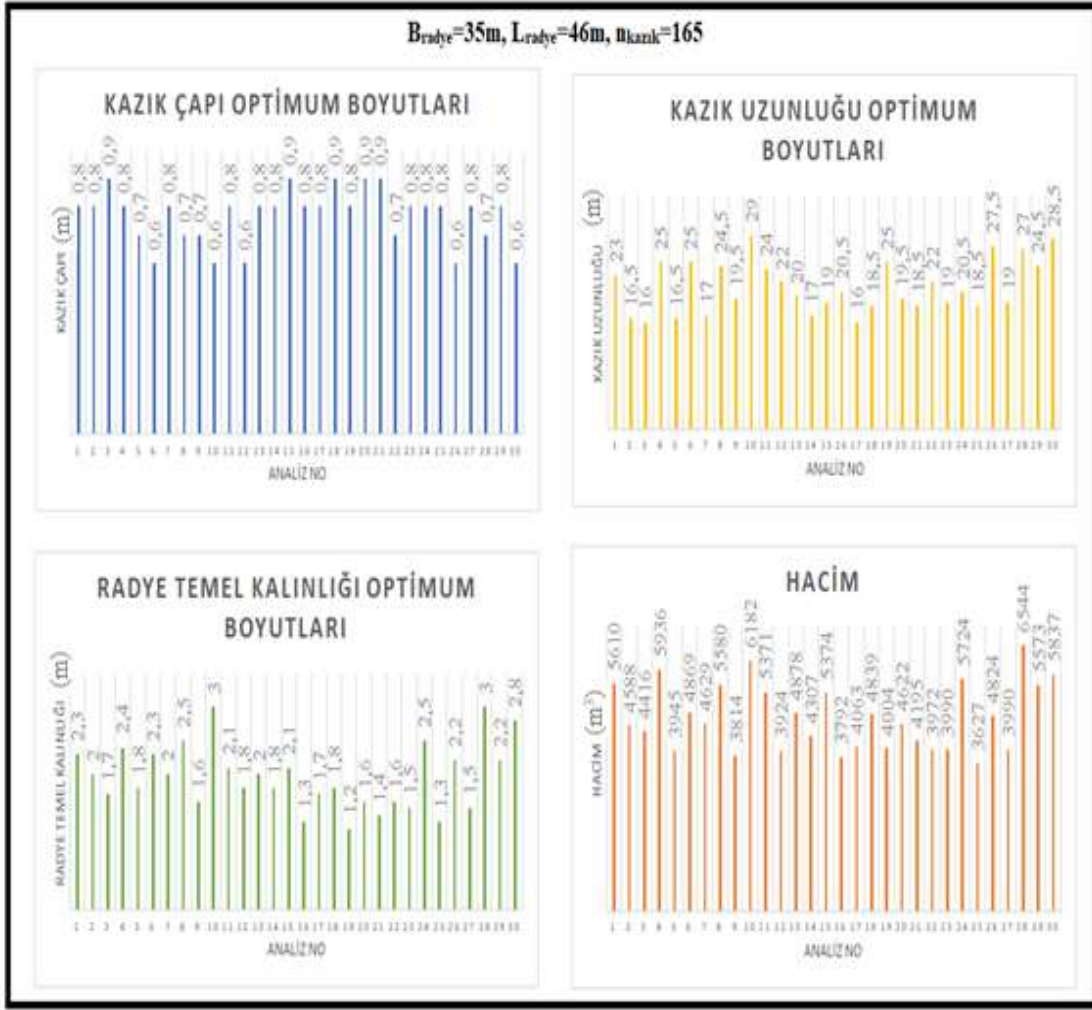
**Şekil 8.48.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=140$ )



**Çizelge 8.56.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=165$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	35	46	0,8	23,0	2,3	5610
2	35	46	0,8	16,5	2,0	4588
3	35	46	0,9	16,0	1,7	4416
4	35	46	0,8	25,0	2,4	5936
5	35	46	0,7	16,5	1,8	3945
6	35	46	0,6	25,0	2,3	4869
7	35	46	0,8	17,0	2,0	4629
8	35	46	0,7	24,5	2,5	5580
9	35	46	0,7	19,5	1,6	3814
10	35	46	0,6	29,0	3,0	6182
11	35	46	0,8	24,0	2,1	5371
12	35	46	0,6	22,0	1,8	3924
13	35	46	0,8	20,0	2,0	4878
14	35	46	0,8	17,0	1,8	4307
15	35	46	0,9	19,0	2,1	5374
<b>16</b>	<b>35</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>20,5</b>	<b>1,3</b>	<b>3792</b>
17	35	46	0,8	16,0	1,7	4063
18	35	46	0,9	18,5	1,8	4839
19	35	46	0,8	25,0	1,2	4004
20	35	46	0,9	19,5	1,6	4622
21	35	46	0,9	18,5	1,4	4195
22	35	46	0,7	22,0	1,6	3972
23	35	46	0,8	19,0	1,5	3990
24	35	46	0,8	20,5	2,5	5724
25	35	46	0,8	18,5	1,3	3627
26	35	46	0,6	27,5	2,2	4824
27	35	46	0,8	19,0	1,5	3990
28	35	46	0,7	27,0	3,0	6544
29	35	46	0,8	24,5	2,2	5573
30	35	46	0,6	28,5	2,8	5837

Kazık sayısı, 11x15 yerleşim düzeninde 165 olarak belirlenmiş, üçüncü projenin HAA ile optimizasyon analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 8.56' da yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar Şekil 8.49'da grafiklerle tanımlanmıştır. 16 numaralı analizde optimum boyutlar sunulmuştur. Optimum kazık çapı 0.8m, kazık uzunluğu 20.5m ve radye temel kalınlığı 1.3m' dir. Optimum boyutlara göre elde edilen optimum hacim değeri ise 3792 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bölüm 8.7.3'te  $B_{\text{radye}}=35$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m,  $n_{\text{kazık}}=165$  olması durumunda YAKA analizleri ile elde edilen sonuçlar Çizelge 8.32 ve Şekil 8.26'da tanımlanmıştır. 19 numaralı analiz sonucuna göre, optimum beton hacmi aynı şartlarda YAKA analizleri ile 3870 m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, HAA ile YAKA kıyaslanırsa, HAA malzeme kullanımı olarak beton hacmi için %2 daha ekonomik sonuçlar vermiştir.

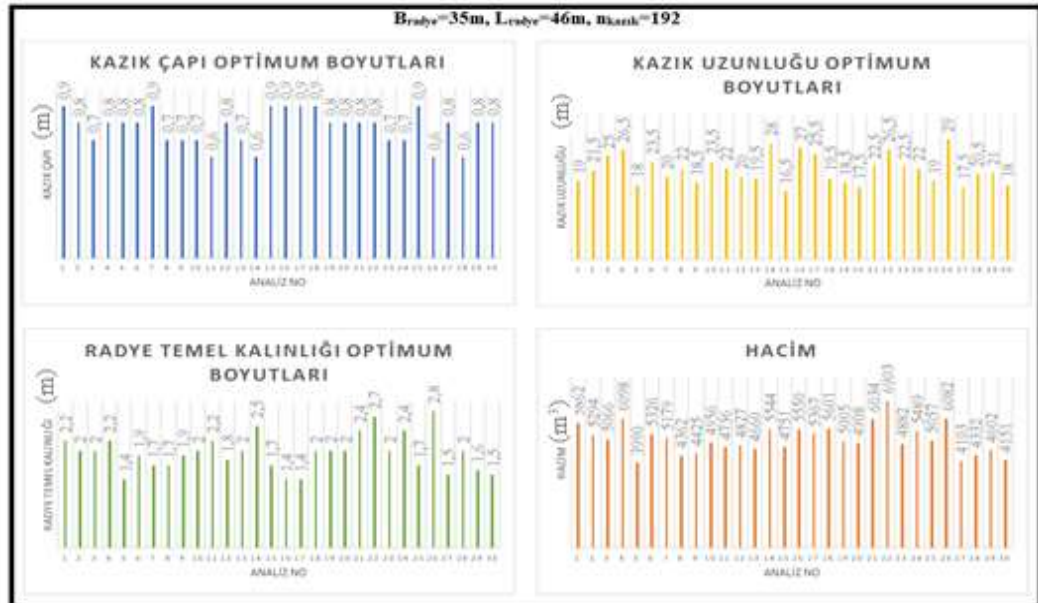


Şekil 8.49. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=165$ )

Çizelge 8.57’de analiz sonuçları sunulan, radye temel boyutları ve kazık sayısı, projenin gerçekteki boyutlarıdır. Çizelge 8.57 ve Şekil 8.50’ye göre optimum boyutlar 5 numaralı analizde gözlemlenmiştir. Optimum boyutlar ise, kazık çapı 0.8m, kazık uzunluğu 18.0m, radye temel kalınlığı 1.4m olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre projenin gerçek kazık çapı, uzunluğu ve radye temel kalınlığı ile kıyaslanırsa, kazık uzunluğunda yaklaşık %22 ve radye temel kalınlığında %30 malzeme verimliliği sağlanmıştır. Projenin gerçek boyutlarına göre, Denklem 8.1 ile kullanılan beton hacmi  $V(x)=5439\text{ m}^3$  tür. Çizelge 8.57’ de sunulan HAA analiz sonuçlarına göre optimum hacim değeri  $3990\text{ m}^3$  tür. Buna göre HAA analizleri ile yaklaşık %27’lik bir ekonomi sağlanmıştır. Analizler sonucunda elde edilen optimum boyutlar ve hacim değeri Şekil 8.50’de grafiklerle tanımlanmıştır.

Çizelge 8.57. Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=192$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	35	46	0,9	19,0	2,2	5862
2	35	46	0,8	21,5	2,0	5294
3	35	46	0,7	25,0	2,0	5066
4	35	46	0,8	26,5	2,2	6098
<b>5</b>	<b>35</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>18,0</b>	<b>1,4</b>	<b>3990</b>
6	35	46	0,8	23,5	1,9	5326
7	35	46	0,9	20,0	1,7	5179
8	35	46	0,7	22,0	1,7	4362
9	35	46	0,7	18,5	1,9	4425
10	35	46	0,7	23,5	2,0	4956
11	35	46	0,6	22,0	2,2	4736
12	35	46	0,8	20,0	1,8	4827
13	35	46	0,7	19,5	2,0	4660
14	35	46	0,6	28,0	2,5	5544
15	35	46	0,9	16,5	1,7	4751
16	35	46	0,9	27,0	1,4	5550
17	35	46	0,9	25,5	1,4	5367
18	35	46	0,9	19,5	2,0	5601
19	35	46	0,8	18,5	2,0	5005
20	35	46	0,8	17,5	2,0	4908
21	35	46	0,8	22,5	2,4	6034
22	35	46	0,8	26,5	2,7	6903
23	35	46	0,7	22,5	2,0	4882
24	35	46	0,7	22,0	2,4	5489
25	35	46	0,9	19,0	1,7	5057
26	35	46	0,6	29,0	2,8	6082
27	35	46	0,8	17,5	1,5	4103
28	35	46	0,6	20,5	2,0	4332
29	35	46	0,8	21,0	1,6	4602
30	35	46	0,8	18,0	1,5	4151

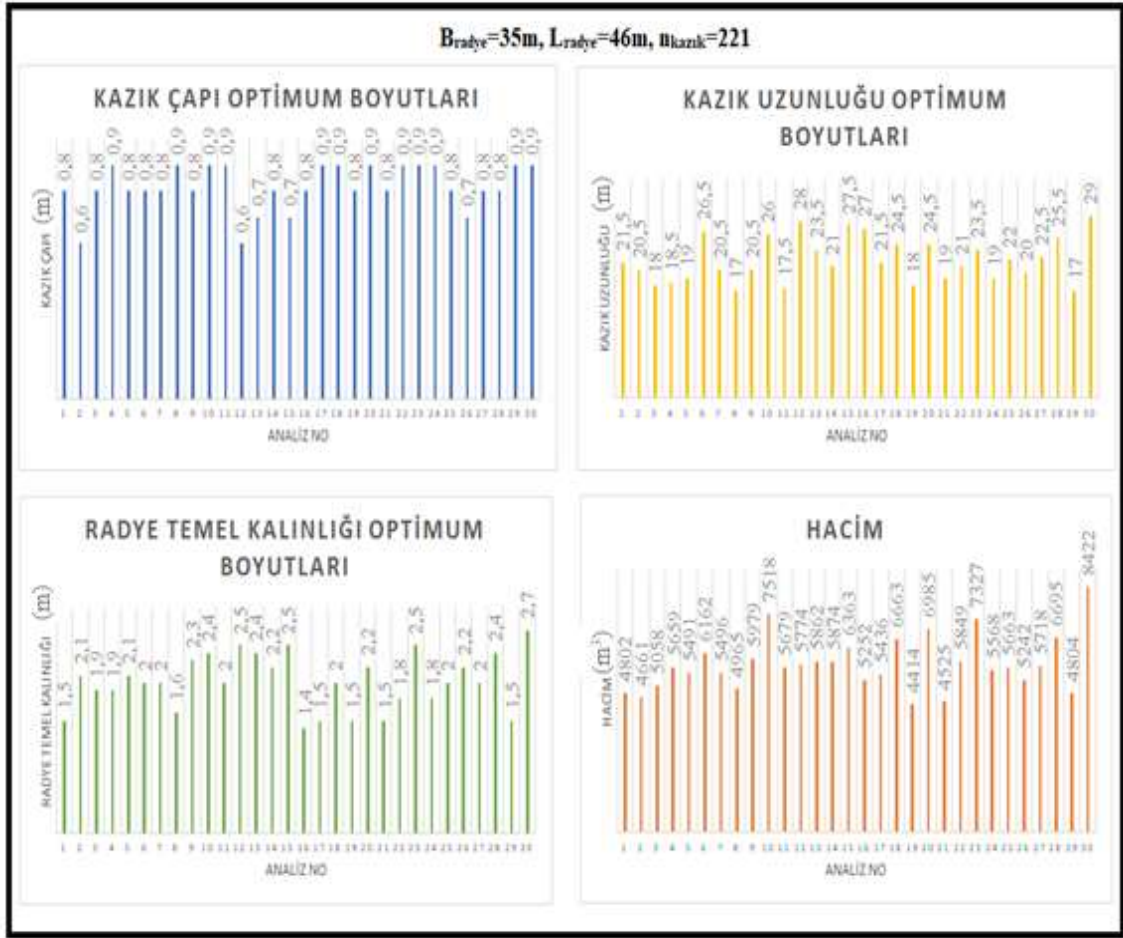
Şekil 8.50. Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$ )

Projenin gerçekteki kazık sayısı arttırılarak,  $n_{kazık}=221$  olması durumunda, optimum boyut ve hacim değerlerinin nasıl değişeceği HAA ile analiz edilmiştir. HAA analizleri sonucunda elde edilen optimum boyutlar Çizelge 8.58’ de yer almaktadır ve sonuçlar Şekil 8.51’de grafiklerle sunulmuştur. Kazık yerleşim düzeni ise Çizelge 8.30’da tanımlandığı üzere 13x17 olarak seçilmiştir.

**Çizelge 8.58.** Radye boyutlarının  $B_{radye}=35m$ ,  $L_{radye}=46m$  ve kazık sayısının  $n_{kazık}=221$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{radye}$ (m)	$L_{radye}$ (m)	$D_{kazık}$ (m)	$L_{kazık}$ (m)	$t_{radye}$ (m)	Hacim ( $m^3$ )
1	35	46	0,8	21,5	1,5	4802
2	35	46	0,6	20,5	2,1	4661
3	35	46	0,8	18,0	1,9	5058
4	35	46	0,9	18,5	1,9	5659
5	35	46	0,8	19,0	2,1	5491
6	35	46	0,8	26,5	2,0	6162
7	35	46	0,8	20,5	2,0	5496
8	35	46	0,9	17,0	1,6	4965
9	35	46	0,8	20,5	2,3	5979
10	35	46	0,9	26,0	2,4	7518
11	35	46	0,9	17,5	2,0	5679
12	35	46	0,6	28,0	2,5	5774
13	35	46	0,7	23,5	2,4	5862
14	35	46	0,8	21,0	2,2	5874
15	35	46	0,7	27,5	2,5	6363
16	35	46	0,8	27,0	1,4	5252
17	35	46	0,9	21,5	1,5	5436
18	35	46	0,9	24,5	2,0	6663
<b>19</b>	<b>35</b>	<b>46</b>	<b>0,8</b>	<b>18,0</b>	<b>1,5</b>	<b>4414</b>
20	35	46	0,9	24,5	2,2	6985
21	35	46	0,8	19,0	1,5	4525
22	35	46	0,9	21,0	1,8	5849
23	35	46	0,9	23,5	2,5	7327
24	35	46	0,9	19,0	1,8	5568
25	35	46	0,8	22,0	2,0	5663
26	35	46	0,7	20,0	2,2	5242
27	35	46	0,8	22,5	2,0	5718
28	35	46	0,8	25,5	2,4	6695
29	35	46	0,9	17,0	1,5	4804
30	35	46	0,9	29,0	2,7	8422

Analizler sonucunda en iyi olduğu düşünülen 30 analiz sonucu Çizelge 8.58’de tanımlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre optimum boyutlar 19 numaralı analiz sonucundadır ve optimum hacim değeri  $4414 m^3$  olarak bulunmuştur. Aynı şartlarda ( $B_{radye}=35m$ ,  $L_{radye}=46 m$  ve  $n_{kazık}=221$ ) YAKA ile gerçekleştirilen analiz sonuçları Bölüm 8.7.3’te Çizelge 8.34 tedir. Bu sonuçlara göre YAKA ile HAA analiz sonuçları kıyaslanırsa, HAA yaklaşık %5 daha ekonomik sonuçlar vermiştir.



**Şekil 8.51.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=35\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=221$ )

Çizelge 8.59’da optimizasyon analizlerinde benimsenen ikinci yaklaşıma göre, gerçek proje boyutlarına göre kazık sayısı sabitken radye boyutları artırılarak HAA analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 8.59’da yer almaktadır ve Şekil 8.52’de grafiklerle tanımlanmıştır. En iyi olduğu düşünülen 30 analiz sonucuna göre, en optimum boyutlar 18 numaralı analiz sonucunda gözlemlenmiştir ve optimum kazık çapı 0.8m, kazık uzunluğu 18.0m ve radye temel kalınlığı 1.4m olarak bulunmuştur. Optimum hacim değeri ise  $4223 \text{ m}^3$  tür.

Aynı şartlarda YAKA analizleri sonucunda optimum hacim değeri Çizelge 8.35’e göre  $4323 \text{ m}^3$  tür. Bu sonuçlara göre HAA analizi sonucunda elde edilen optimum hacim değeri, YAKA analizleri sonucunda elde edilen optimum hacim değerine göre %2 daha ekonomiktir. Gerçek boyutlu üçüncü projenin radye temel boyutları  $B_{\text{radye}}=37 \text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48 \text{ m}$  olarak seçilirse, gerçek proje değerleri dikkate alınarak, Denklem 8.1’e göre beton hacmi  $V(x)=5771 \text{ m}^3$  olarak hesaplanır.

HAA analiz sonuçlarına göre gerçekteki beton hacminde optimum boyutların kullanılması durumunda yaklaşık olarak malzeme kullanımında, %27 ekonomiklik sağlanabilir.

Ayrıca radye boyutlarının arttırılması sonucunda radye alanında %9'luk bir genel alan artışı olmuştur. Denklem 8.1' e göre iki farklı radye temel alanı için beton hacmi;  $B_{\text{radye}}=35$  m,  $L_{\text{radye}}=46$  m için beton hacmi  $V(x)=5439$  m<sup>3</sup>,  $B_{\text{radye}}=37$  m,  $L_{\text{radye}}=48$  m için beton hacmi  $V(x)=5771$  m<sup>3</sup> tür. Buna göre iki farklı radye temel alanı için beton hacminde %6 lık bir beton hacmi artışı meydana gelmiştir.

**Çizelge 8.59.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=37$ m,  $L_{\text{radye}}=48$ m ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=192$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim (m <sup>3</sup> )
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	
1	37	48	0,8	23,0	2,0	5771
2	37	48	0,9	23,0	1,8	6005
3	37	48	0,6	24,0	1,8	4499
4	37	48	0,9	19,0	1,9	5694
5	37	48	0,8	18,5	1,8	4981
6	37	48	0,7	21,0	2,0	5103
7	37	48	0,7	27,5	2,3	6116
8	37	48	0,9	29,0	2,3	7625
9	37	48	0,6	26,5	2,5	5878
10	37	48	0,9	18,0	1,4	4684
11	37	48	0,9	17,0	2,0	5627
12	37	48	0,8	17,0	1,9	5014
13	37	48	0,7	22,0	2,0	5177
14	37	48	0,8	17,5	1,7	4707
15	37	48	0,7	20,5	1,8	4711
16	37	48	0,7	20,5	1,6	4356
17	37	48	0,6	22,0	1,8	4391
<b>18</b>	<b>37</b>	<b>48</b>	<b>0,8</b>	<b>18,0</b>	<b>1,4</b>	<b>4223</b>
19	37	48	0,7	27,5	2,4	6293
20	37	48	0,8	25,0	2,1	6141
21	37	48	0,7	27,0	2,4	6256
22	37	48	0,6	24,0	2,1	5032
23	37	48	0,8	25,5	2,1	6189
24	37	48	0,7	24,0	2,1	5502
25	37	48	0,8	25,0	2,0	5964
26	37	48	0,7	20,5	2,2	5421
27	37	48	0,9	19,5	1,8	5577
28	37	48	0,8	28,0	1,6	5543
29	37	48	0,7	20,5	2,2	5421
30	37	48	0,8	19,0	1,5	4497



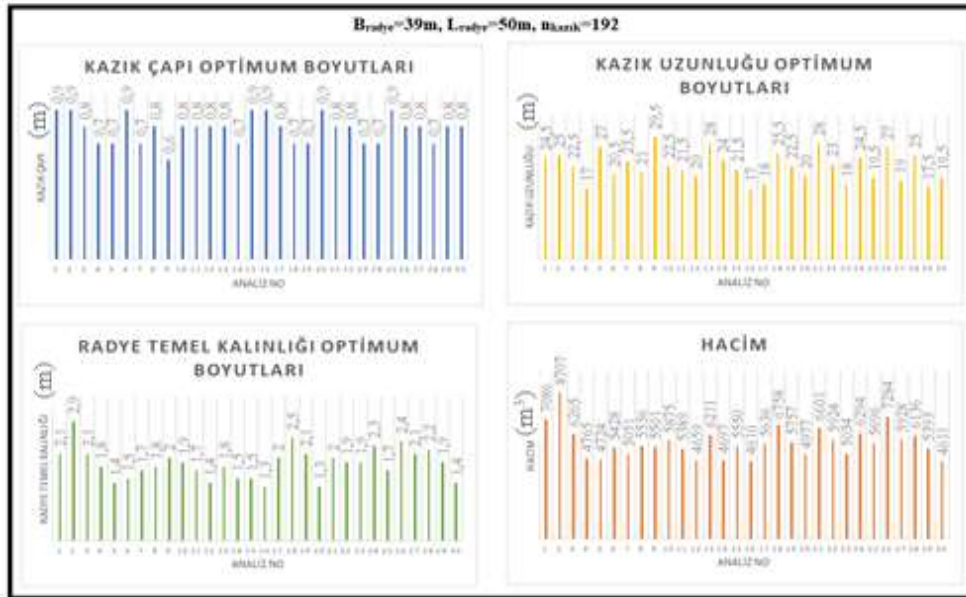
**Şekil 8.52.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=37\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=48\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$ )

Çizelge 8.60 ve Şekil 8.53’de,  $B_{\text{radye}}=35\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{ m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$  olması durumunda, HAA analizleri ile elde edilen optimum boyutlar ve hacim değeri yer almaktadır. 30 numaralı analiz sonucunda, optimum boyutlar ve hacim değeri sunulmuştur. Sonuçlara göre optimum kazık çapı 0.8m, kazık uzunluğu 19.5m, radye temel kalınlığı 1.4m’dir. Optimum hacim değeri ise 4611 m<sup>3</sup> tür.

Aynı şartlarda YAKA analiz sonucuna göre (Çizelge 8.36) optimum hacim değeri 4843 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Çizelge 8.36’da yer alan YAKA optimum hacim değeri 4843 m<sup>3</sup> ile Çizelge 8.60’da yer alan HAA optimum hacim değeri 4611 m<sup>3</sup> karşılaştırılırsa, HAA analizi sonucunda YAKA’ya göre yaklaşık %4 daha ekonomik bir sonuç elde edilmiştir.

**Çizelge 8.60.** Radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=39\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=50\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=192$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			
	$B_{\text{radye}}$ (m)	$L_{\text{radye}}$ (m)	$D_{\text{kazık}}$ (m)	$L_{\text{kazık}}$ (m)	$t_{\text{radye}}$ (m)	Hacim ( $\text{m}^3$ )
1	39	50	0,9	24,5	2,1	7086
2	39	50	0,9	25,0	2,9	8707
3	39	50	0,8	22,5	2,1	6265
4	39	50	0,7	17,0	1,8	4765
5	39	50	0,7	27,0	1,4	4724
6	39	50	0,9	20,5	1,5	5428
7	39	50	0,7	23,5	1,7	5051
8	39	50	0,8	21,0	1,8	5536
9	39	50	0,6	29,5	2,0	5501
10	39	50	0,8	22,5	1,9	5875
11	39	50	0,8	21,5	1,7	5389
12	39	50	0,8	20,0	1,4	4659
13	39	50	0,8	28,0	1,8	6211
14	39	50	0,7	24,0	1,5	4697
15	39	50	0,9	21,5	1,5	5550
16	39	50	0,9	17,0	1,3	4610
17	39	50	0,8	18,0	2,0	5636
18	39	50	0,7	25,5	2,5	6758
19	39	50	0,7	22,5	2,1	5757
20	39	50	0,9	20,0	1,3	4977
21	39	50	0,8	28,0	2,0	6601
22	39	50	0,8	23,0	1,9	5924
23	39	50	0,7	18,0	1,9	5034
24	39	50	0,7	24,5	2,3	6294
25	39	50	0,9	19,5	1,7	5696
26	39	50	0,8	27,0	2,4	7284
27	39	50	0,8	19,0	2,1	5928
28	39	50	0,7	25,0	2,2	6136
29	39	50	0,8	17,5	1,9	5393
<b>30</b>	<b>39</b>	<b>50</b>	<b>0,8</b>	<b>19,5</b>	<b>1,4</b>	<b>4611</b>



**Şekil 8.53.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=39\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=50\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$ )

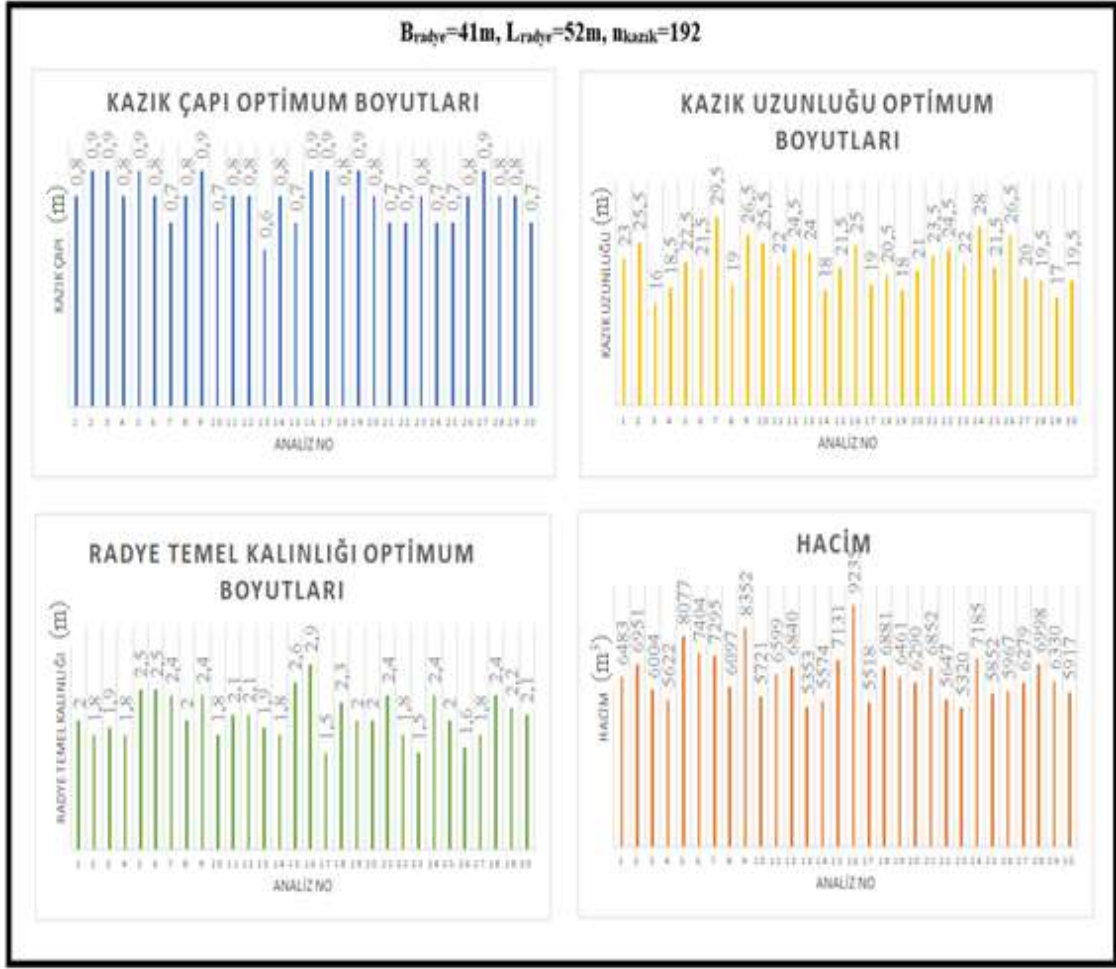


Gerçek boyutlu üçüncü projenin, ikinci yaklaşıma göre (radye boyutlarının değiştirilmesi) kazık sayısı  $n_{kazık}=192$  olması durumunda, radye boyutları  $B_{radye}=41$  m,  $L_{radye}=52$  m için HAA analizleri yapılmıştır ve analiz sonuçları Çizelge 8.61 ile Şekil 8.54'te tanımlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre optimum boyutlar 23 numaralı analiz sonucunda yer almaktadır ve sonuçlara göre; optimum kazık çapı 0.8m, kazık uzunluğu 22.0m ve radye temel kalınlığı 1.5m'dir. Optimum boyutların amaç fonksiyonunda yerine yazılması ile optimum hacim değeri  $5320 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

Üçüncü projenin YAKA'ya göre ( $B_{radye}=41$  m,  $L_{radye}=52$  m olarak radye boyutlarının seçilmesi durumunda) elde edilen analiz sonuçları Bölüm 8.7.3'te Çizelge 8.37 ile tanımlanmıştır. Çizelge 8.37'ye göre optimum hacim değeri  $5417 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara dikkate alınır aynı şartlarda HAA, YAKA analiz sonucuna göre %3 daha ekonomik bir sonuç vermiştir.

**Çizelge 8.61.** Radye boyutlarının  $B_{radye}=41\text{m}$ ,  $L_{radye}=52\text{m}$  ve kazık sayısının  $n_{kazık}=192$  seçilmesi

Analiz No	Radye Özellikleri		Kazık Özellikleri			Hacim ( $\text{m}^3$ )
	$B_{radye}$ (m)	$L_{radye}$ (m)	$D_{kazık}$ (m)	$L_{kazık}$ (m)	$t_{radye}$ (m)	
1	41	52	0,8	23,0	2,0	6483
2	41	52	0,9	25,5	1,8	6951
3	41	52	0,9	16,0	1,9	6004
4	41	52	0,8	18,5	1,8	5622
5	41	52	0,9	22,5	2,5	8077
6	41	52	0,8	21,5	2,5	7404
7	41	52	0,7	29,5	2,4	7295
8	41	52	0,8	19,0	2,0	6097
9	41	52	0,9	26,5	2,4	8352
10	41	52	0,7	25,5	1,8	5721
11	41	52	0,8	22,0	2,1	6599
12	41	52	0,8	24,5	2,1	6840
13	41	52	0,6	24,0	1,9	5353
14	41	52	0,8	18,0	1,8	5574
15	41	52	0,7	21,5	2,6	7131
16	41	52	0,9	25,0	2,9	9235
17	41	52	0,9	19,0	1,5	5518
18	41	52	0,8	20,5	2,3	6881
19	41	52	0,9	18,0	2,0	6461
20	41	52	0,8	21,0	2,0	6290
21	41	52	0,7	23,5	2,4	6852
22	41	52	0,7	24,5	1,8	5647
<b>23</b>	<b>41</b>	<b>52</b>	<b>0,8</b>	<b>22,0</b>	<b>1,5</b>	<b>5320</b>
24	41	52	0,7	28,0	2,4	7185
25	41	52	0,7	21,5	2,0	5852
26	41	52	0,8	26,5	1,6	5967
27	41	52	0,9	20,0	1,8	6279
28	41	52	0,8	19,5	2,4	6998
29	41	52	0,8	17,0	2,2	6330
30	41	52	0,7	19,5	2,1	5917



**Şekil 8.54.** Analiz sonucu elde edilen optimum temel boyutları ve hacim değerleri ( $B_{\text{radye}}=41\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{m}$ ,  $n_{\text{kazık}}=192$ )

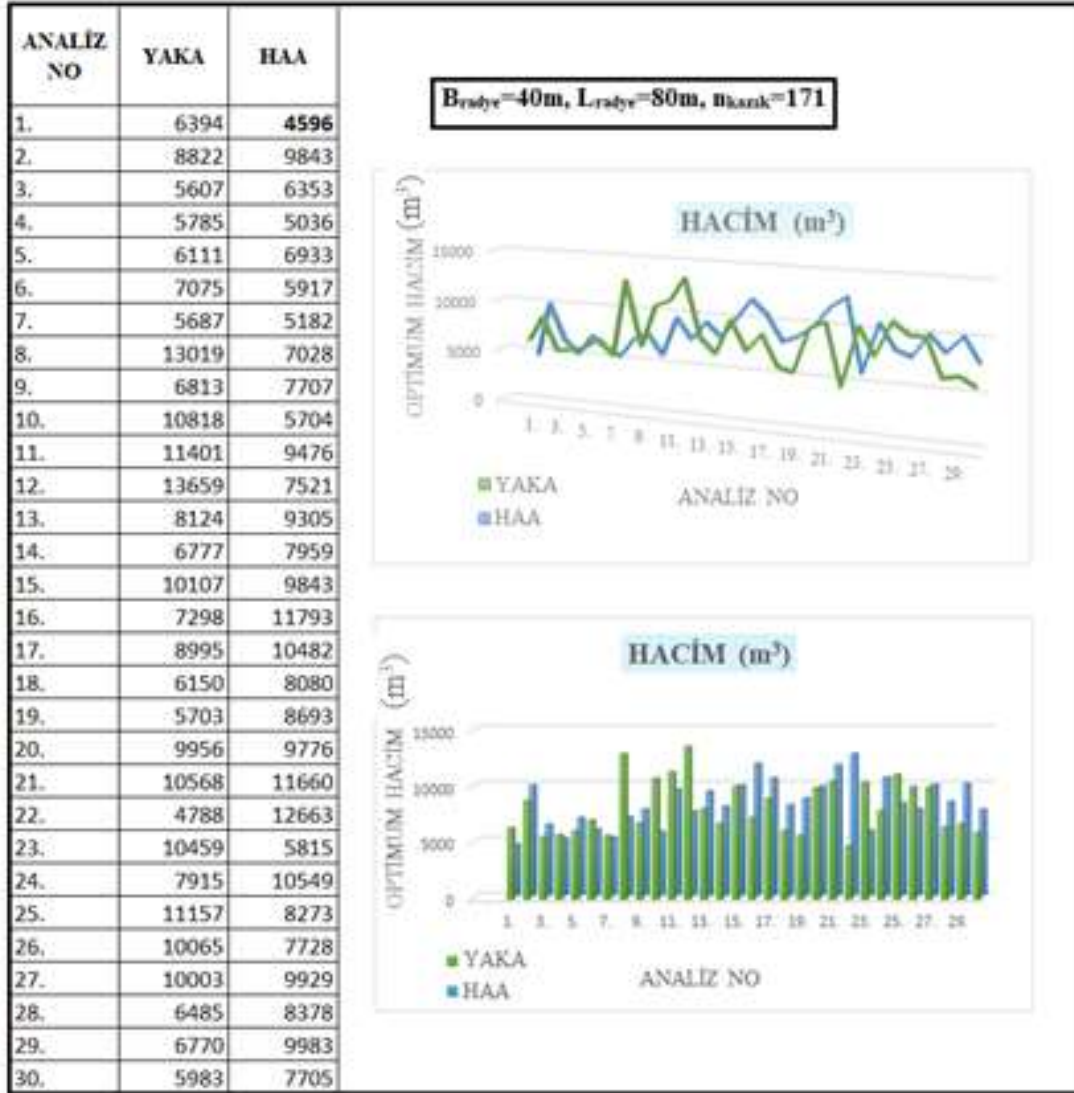
Gerçek boyutlu üçüncü projenin Denklem 8.1'e göre radye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=41\text{m}$ ,  $L_{\text{radye}}=52\text{m}$  seçilmesi durumunda kullanılan beton hacmi  $6483\text{ m}^3$  olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda HAA analiz sonuçlarına göre %21 ekonomiklik söz konusu olmaktadır.

### 8.8. Projelerin YAKA ve HAA Optimizasyon Analizleri Sonucunda Elde Edilen Optimum Hacim Değerlerinin Kıyaslanması

Gerçek boyutlu üç farklı projenin optimizasyon analizleri, "Yapay Arı Kolonisi Algoritması" (YAKA) ve "Harmoni Arama Algoritması" (HAA) ile gerçekleştirilmiştir. İki farklı yaklaşıma göre analizler çizelge ve grafiklerle tanımlanmıştır. İlk yaklaşımda kazık sayısı, ikinci yaklaşımda ise radye boyutları değiştirilerek optimum boyut ve hacim değerleri hesaplanmıştır. Bu nedenle aynı şartlarda gerçekleştirilen analiz sonuçları YAKA ve HAA bu bölümde kıyaslanmıştır.

### 8.8.1. Birinci projenin YAKA ve HAA için optimum hacim değerlerinin kıyaslanması

YAKA ve HAA ile analizleri yapılan gerçek boyutlu birinci projenin, genel özellikleri Çizelge 8.7 ve Çizelge 8.8’de yer almaktadır. Proje kazık sayısı ve radye boyutları değişimine göre HAA ve YAKA ile analiz edilmiş ve optimum tasarım boyutları ile hacim değerleri hesaplanmıştır.

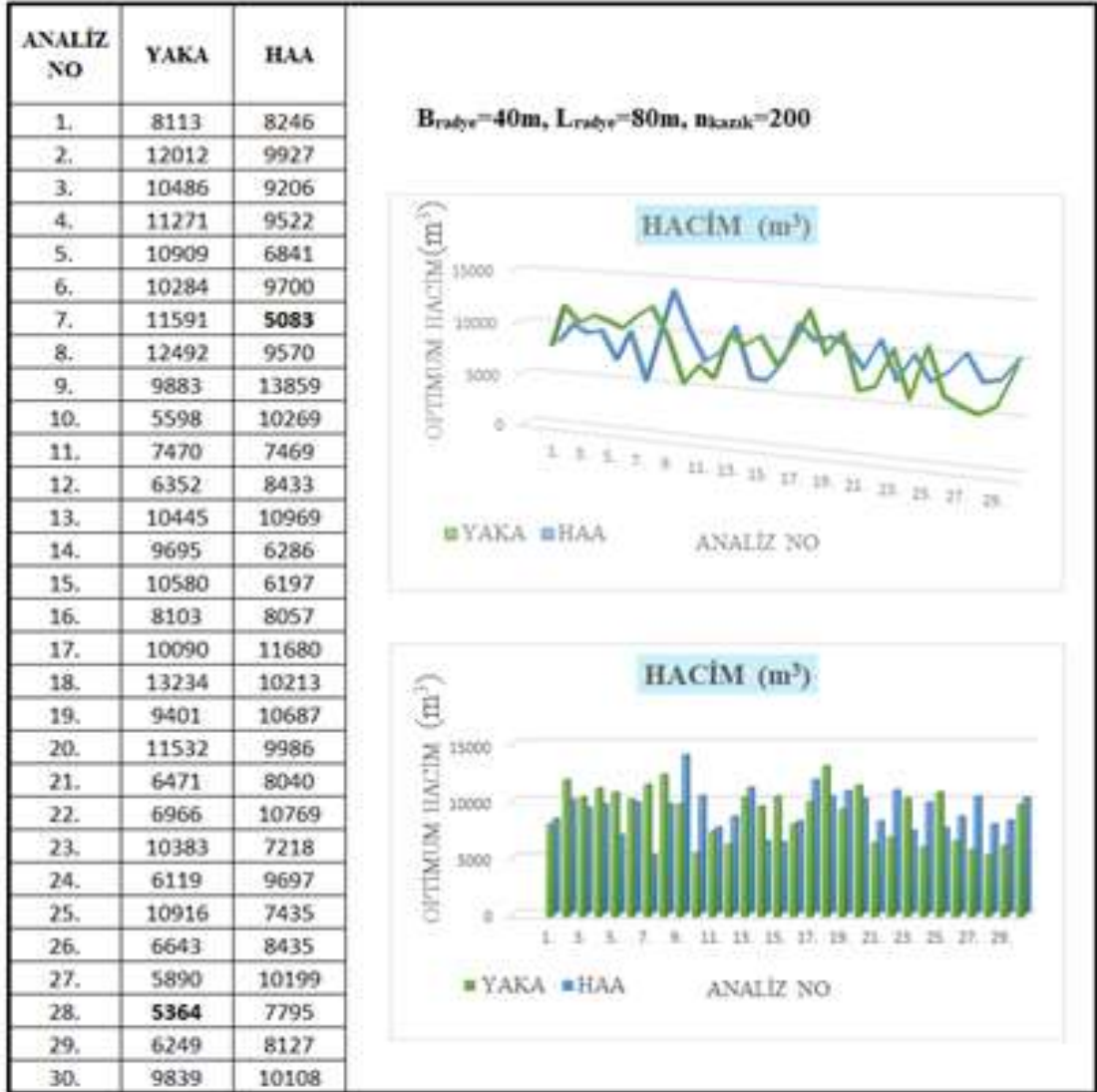


Şekil 8.55. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.55’te projenin gerçek radye boyutlarına göre,  $B_{\text{radye}}=40$  m,  $L_{\text{radye}}=80$  m ve kazık sayısı  $n_{\text{kazık}}=171$  olması durumunda YAKA ve HAA’ya göre elde edilen sonuçların kıyaslanması çizelge ve grafiklerle tanımlanmıştır. Şekil 8.56, Şekil 8.57, Şekil 8.58, Şekil 8.59’da radye boyutları değiştirilerek kazık sayısının sabit tutulması durumundaki sonuçlar yer almaktadır. Şekil 8.60, Şekil 8.61, Şekil 8.62 ve Şekil 8.63’de kazık sayısının

değişimi incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre HAA'nın her koşulda daha optimum sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Her iki algoritma arasındaki fark her durum için yüzdesel olarak Bölüm 8.7.4'te ifade edilmiştir.

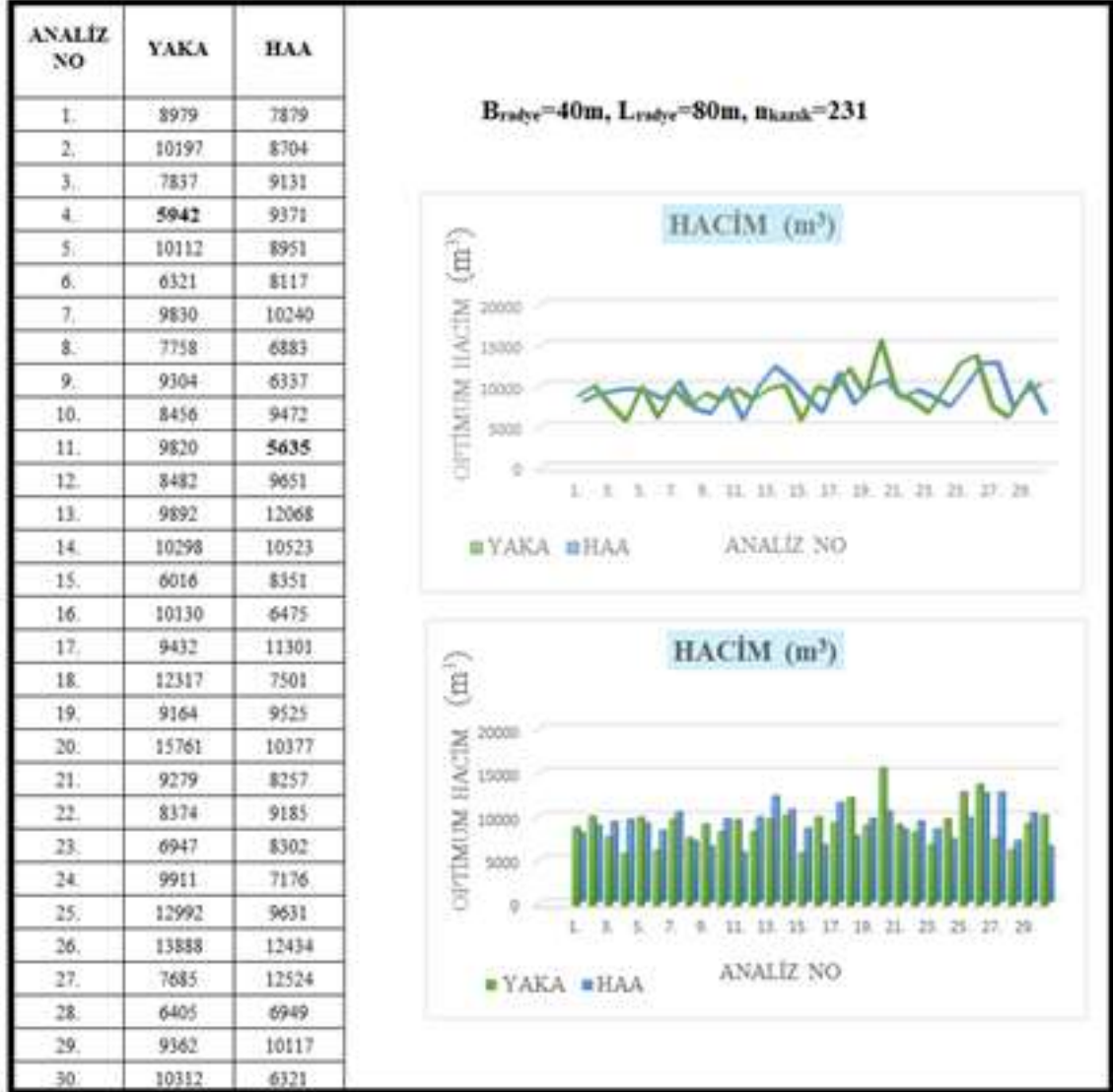
Şekil 8.55'te elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur. Bu sonuçlara göre optimum hacim değerleri YAKA analizleri ile  $4788\text{m}^3$ , HAA analizleri ile  $4596\text{m}^3$ 'tür. HAA analiz sonuçları, YAKA'ya göre %4 daha ekonomik sonuçlar sunmuştur.



Şekil 8.56. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.56'da radye boyutları sabitken, kazık sayısının 200 seçilmesi durumunda elde edilen analiz sonuçları tanımlanmıştır. YAKA analizleri ile optimum hacim değeri  $5364\text{m}^3$  ve HAA analizleri ile  $5083\text{m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre HAA analizleri, YAKA analiz sonuçlarına göre yaklaşık olarak %5 daha ekonomik sonuçlar sunmuştur.

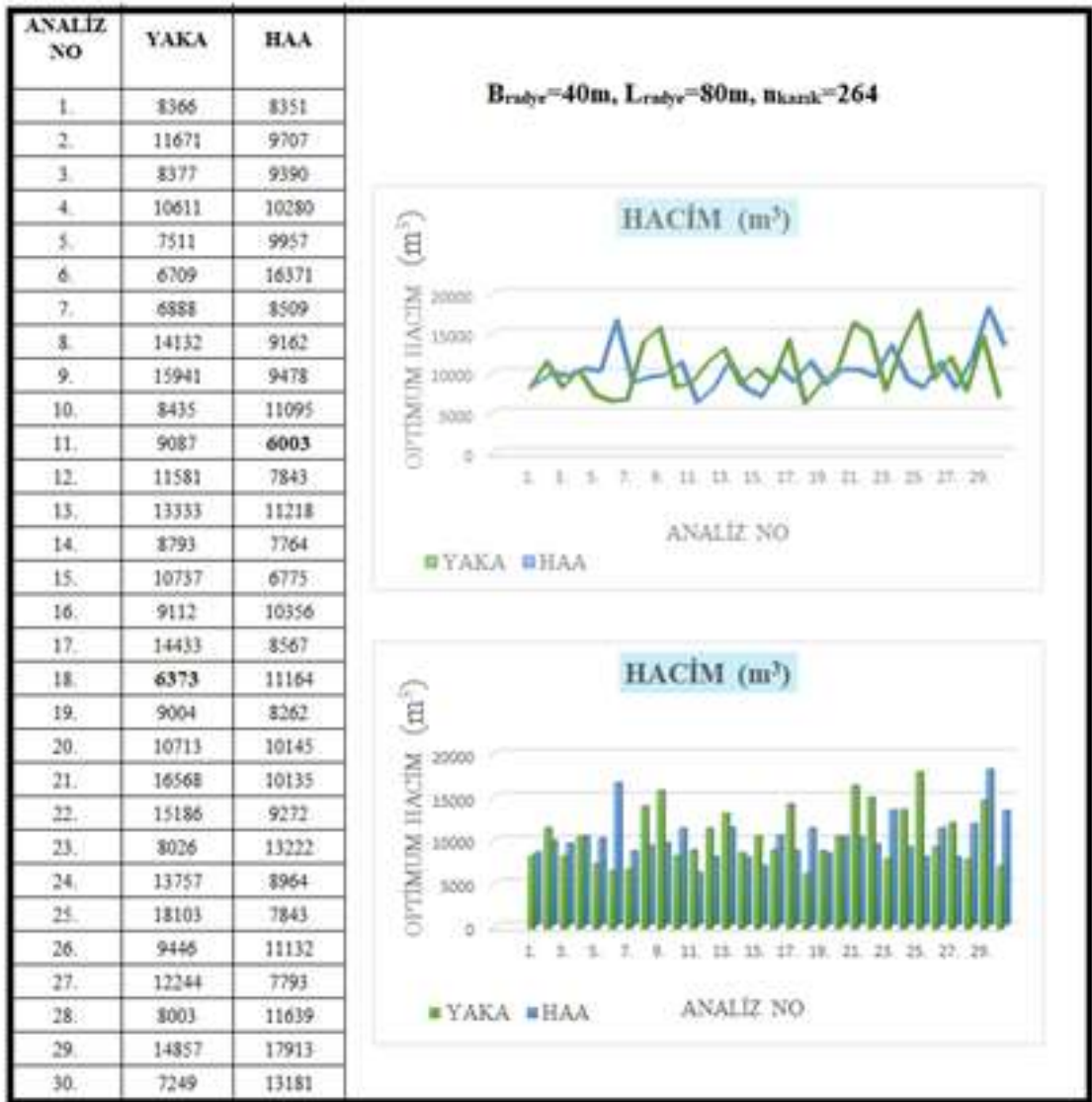
Şekil 8.57’de radye boyutları  $B_{\text{radye}}=40$  m,  $L_{\text{radye}}=80$  m ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=231$  seçilmesi durumunda elde edilen analiz sonuçları yer almaktadır. YAKA analizleri ile optimum hacim değeri  $5942$  m<sup>3</sup> ve HAA analizleri ile  $5635$  m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Kullanılan beton hacim miktarı HAA analizleri, YAKA analiz sonuçlarına göre yaklaşık olarak %5 daha ekonomiktir.



Şekil 8.57. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.58’de birinci projenin gerçek boyutları kullanılarak elde edilen analiz sonuçları yer almaktadır. Radye boyutları  $B_{\text{radye}}=40$  m,  $L_{\text{radye}}=80$  m ve kazık sayısının  $n_{\text{kazık}}=264$  seçilmesi durumunda, YAKA ile en optimum beton hacim değeri  $6373$  m<sup>3</sup> ve HAA analizleri ile  $6003$  m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Projenin gerçekte kullanılan beton hacim değeri ile optimizasyon analizleri sonucu elde edilen hacim değerleri kıyaslanırsa; YAKA analizleri ile gerçekteki beton hacim miktarına göre %27 ekonomiklik, HAA analizleri

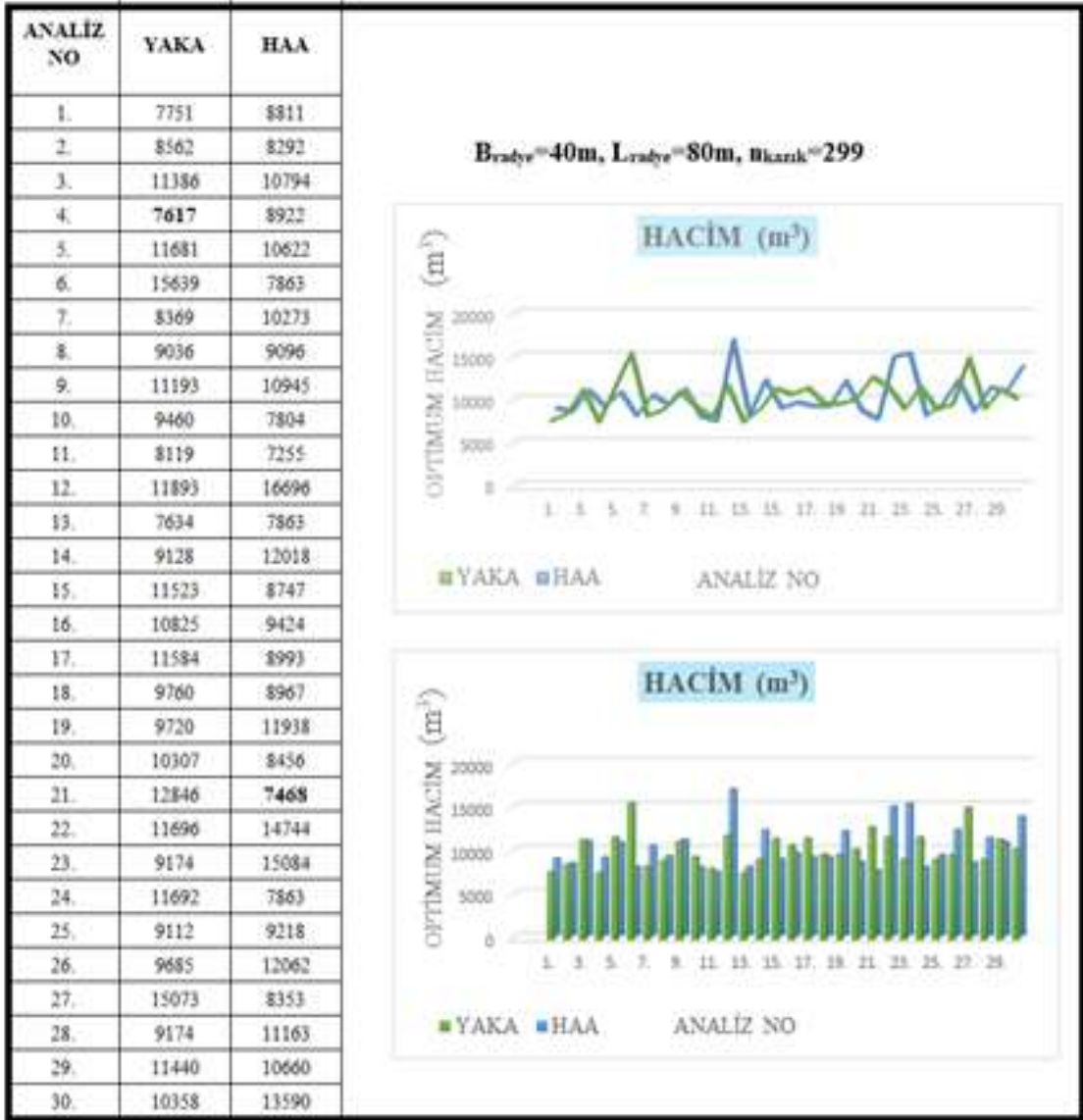
ile %31 ekonomiklik gözlemlenmiştir. Buna göre HAA, YAKA'ya göre %4 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur.



Şekil 8.58. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.59'da ise kazık sayısının artırılması durumunda elde edilen optimizasyon analiz sonuçları sunulmuştur. Kazık sayısının  $n_{kazık}=299$  olması durumunda YAKA ile optimum hacim değeri  $7617 \text{ m}^3$  ve HAA ile optimum hacim değeri  $7463 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar dikkate alınırsa; HAA, YAKA'ya göre %2 daha ekonomik sonuçlar vermiştir.

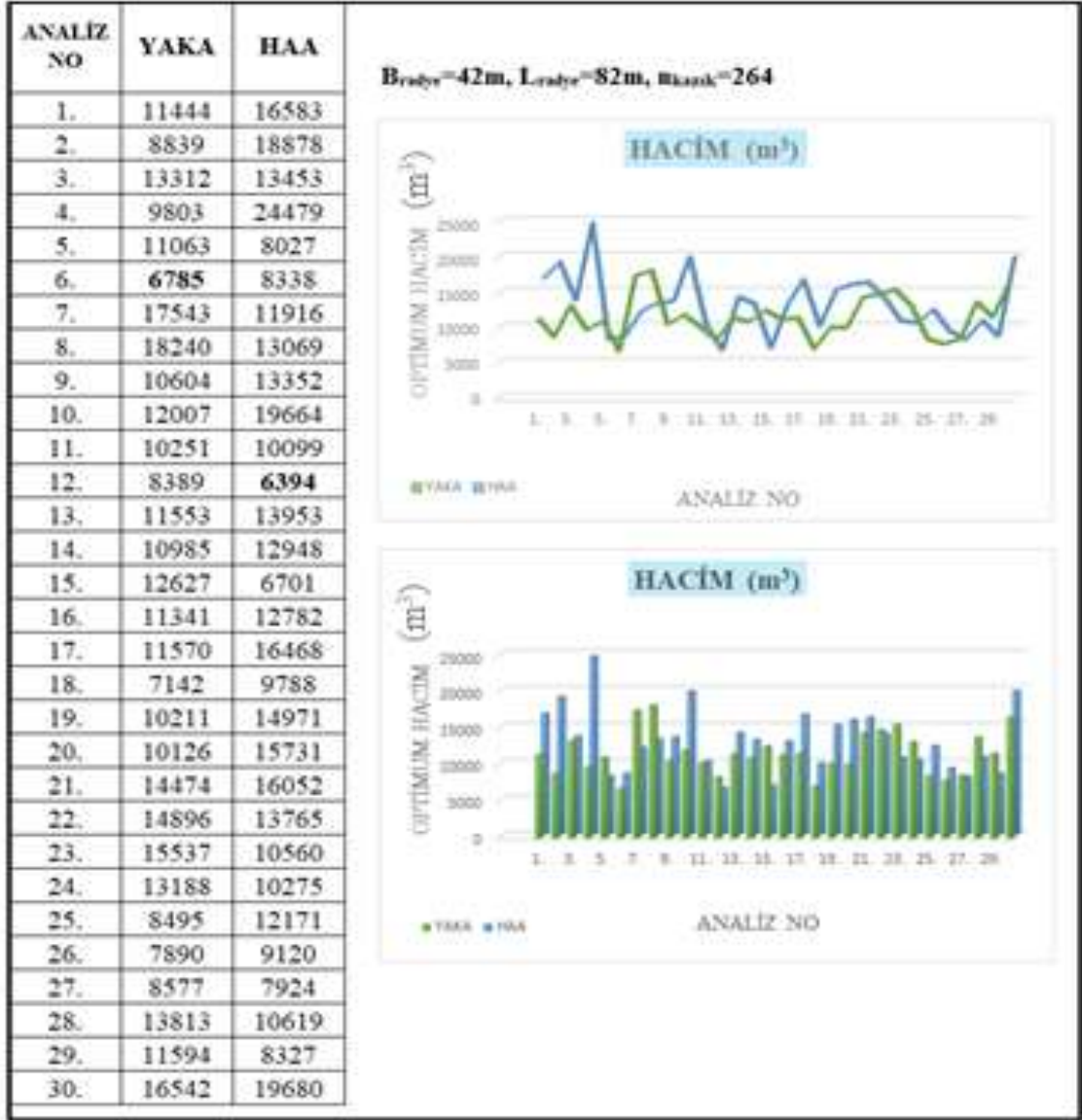




Şekil 8.59. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Optimizasyon analizleri iki farklı yaklaşıma göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 8.60'da da radye boyutlarının yaklaşık olarak %8 artırılması sonucunda elde edilen optimum hacim değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. YAKA analizleri ile optimum hacim değeri 6785 m<sup>3</sup> ve HAA analizleri ile 6394 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre radye boyutlarının ve kazık sayısının; B<sub>radye</sub>=42 m, L<sub>radye</sub>=82 m, n<sub>kazık</sub>=264 seçilmesi durumunda, HAA, YAKA analizlerinde %6 daha ekonomiktir.

Şekil 8.61'de radye boyutlarının B<sub>radye</sub>=44 m, L<sub>radye</sub>=84 m, Şekil 8.62'de radye boyutlarının B<sub>radye</sub>=46 m, L<sub>radye</sub>=86 m, Şekil 8.63'te radye boyutlarının B<sub>radye</sub>=48 m, L<sub>radye</sub>=88 m seçilmesi durumunda, elde edilen optimum hacim değerleri sunulmuştur.



Şekil 8.60. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Radye boyutlarının,  $B_{radye}=44$  m,  $L_{radye}=84$  m seçilmesi ile radye alanında, %15.5,  $B_{radye}=46$  m,  $L_{radye}=86$  m seçilmesi ile radye alanında %24, radye boyutlarının  $B_{radye}=48$  m,  $L_{radye}=88$  m seçilmesi ile yaklaşık %32'lik bir radye alan artışı oluşmaktadır. Sonuçlar radye alan artışı ve algoritma analiz sonuçlarının kıyaslanması açısından değerlendirilmiştir.

Şekil 8.61'e göre YAKA analiz sonuçları ile optimum hacim değeri  $7770$  m<sup>3</sup> ve HAA analiz sonuçları ile  $7600$  m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre radye alanındaki %15.5'lik artış olması durumunda, HAA, YAKA'ya göre %3 daha ekonomik sonuçlar sunmuştur.

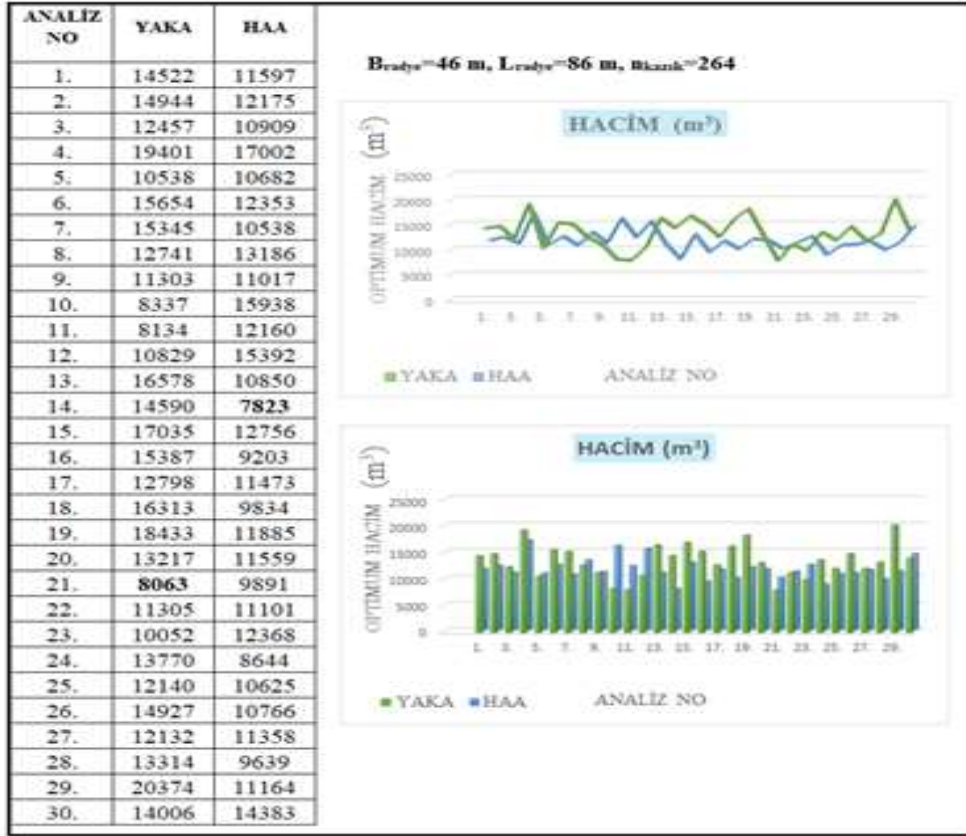




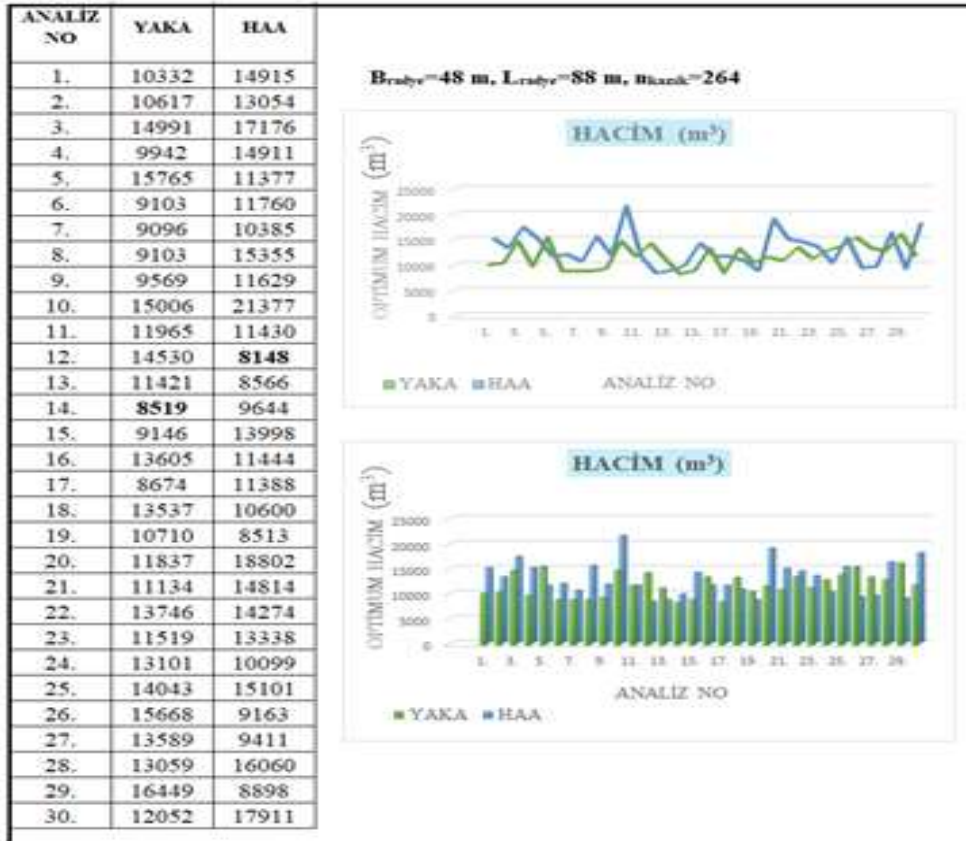
Şekil 8.61. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.62’de raye boyutlarının  $B_{\text{radye}}=46$  m,  $L_{\text{radye}}=86$  m olarak seçilmesi durumunda, optimizasyon analizleri sonucunda elde edilen optimum hacim değerleri grafiksel olarak tanımlanmıştır. Radye alanında ki %24’lük artış sonucunda, optimum hacim değeri YAKA ile  $8063 \text{ m}^3$  ve HAA ile  $7823 \text{ m}^3$  olarak belirlenmiştir. Sonuçlar algoritmalara göre değerlendirilecek olursa, HAA %3 daha ekonomiktir.

Şekil 8.63’te ise radye temel alanındaki %32’lik artışın optimizasyon analizleri sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre YAKA analizleri ile optimum beton hacmi  $8519 \text{ m}^3$ , HAA analizleri ile beton hacmi  $8148 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre HAA YAKA’ya göre %4 daha ekonomiktir.



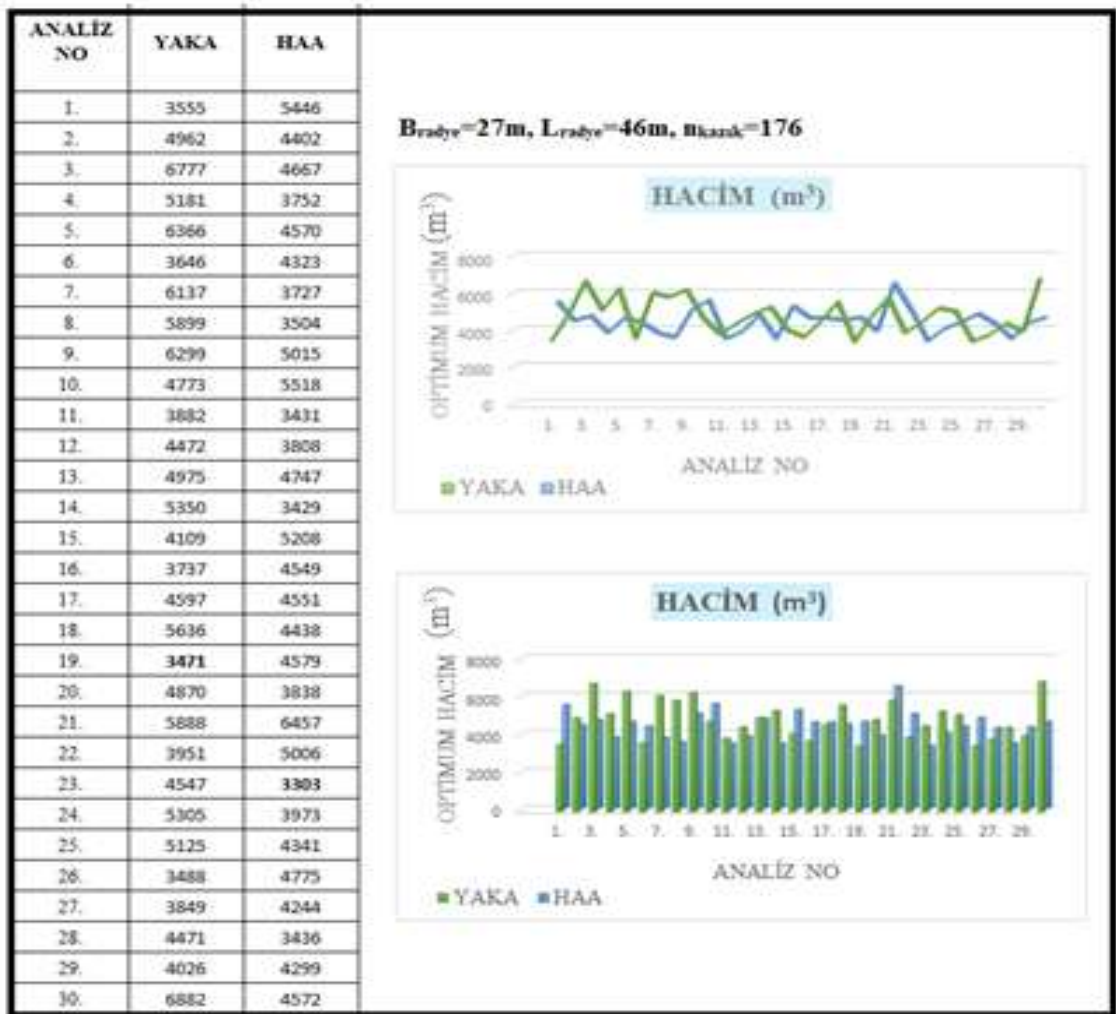
Şekil 8.62. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8.63. Birinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

### 8.8.2. İkinci projenin YAKA ve HAA için optimum hacim değerlerinin kıyaslanması

Analizlerle optimum hacim değerleri araştırılan ikinci projenin genel özellikleri Çizelge 8.18 ve Çizelge 8.19’da sunulmuştur. Analizler birinci projede olduğu gibi radye temel boyutları ve kazık sayıları değiştirilerek YAKA ve HAA’ya göre gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Şekil 8.64, Şekil 8.65, Şekil 8.66, Şekil 8.67, Şekil 8.68, Şekil 8.69 ve Şekil 8.70’de grafiklerle sunulmuştur. Grafik ve çizelgelerde HAA ve YAKA sonuçları arasındaki değişim görülmektedir. Yapılan analizlere göre her durumda YAKA ve HAA için en optimum hacim değerleri arasındaki yüzdesel fark Bölüm 8.7.5’te yorumlanmıştır.



Şekil 8.64. İkinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Kazık sayısının  $n_{kazık}=176$  seçilmesi durumunda optimizasyon analizleri ile elde edilen sonuçlar YAKA ve HAA için Şekil 8.64’te sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, YAKA analizleri ile optimum hacim değeri  $3471 \text{ m}^3$ , HAA analizleri ile  $3303 \text{ m}^3$  olarak

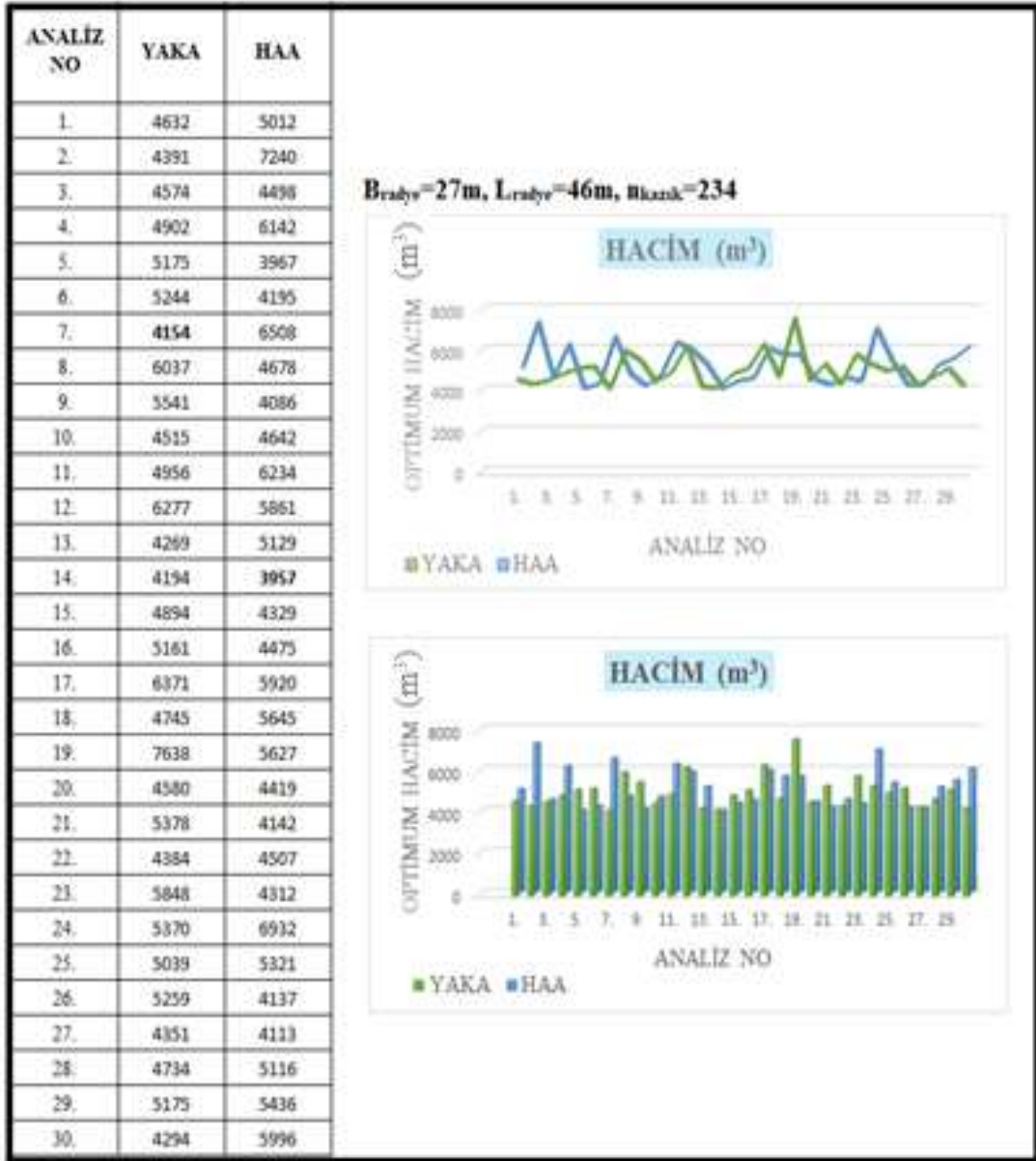
bulunmuştur. Buna göre malzeme verimliliği açısından algoritma sonuçları kıyaslanırsa, HAA analizleri sonucunda, YAKA'ya göre %5 daha ekonomik bir sonuç elde edilmiştir.

Şekil 8.65'te kazık sayısının  $n_{kazık}=204$  seçilmesi durumunda elde edilen optimum hacim değerleri sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre YAKA analizlerinde en optimum beton hacmi  $4053 \text{ m}^3$ , HAA analizleri sonucunda  $3870 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Analiz sonuçları kıyaslanırsa; HAA, YAKA analizlerine göre %4.5 daha ekonomiktir.



Şekil 8.65. İkinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Kazık sayısının  $n_{kazık}=234$  seçilmesi durumunda elde edilen ve en iyi 30 analiz sonucu olduğu düşünülen optimum hacim değerleri Şekil 8.66'da yer almaktadır. Analiz sonuçlarına göre YAKA analizlerinde optimum beton hacmi  $4154 \text{ m}^3$  ve HAA analizlerinde optimum beton hacmi  $3957 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Buna göre HAA, YAKA'ya göre %4.7 daha ekonomiktir.

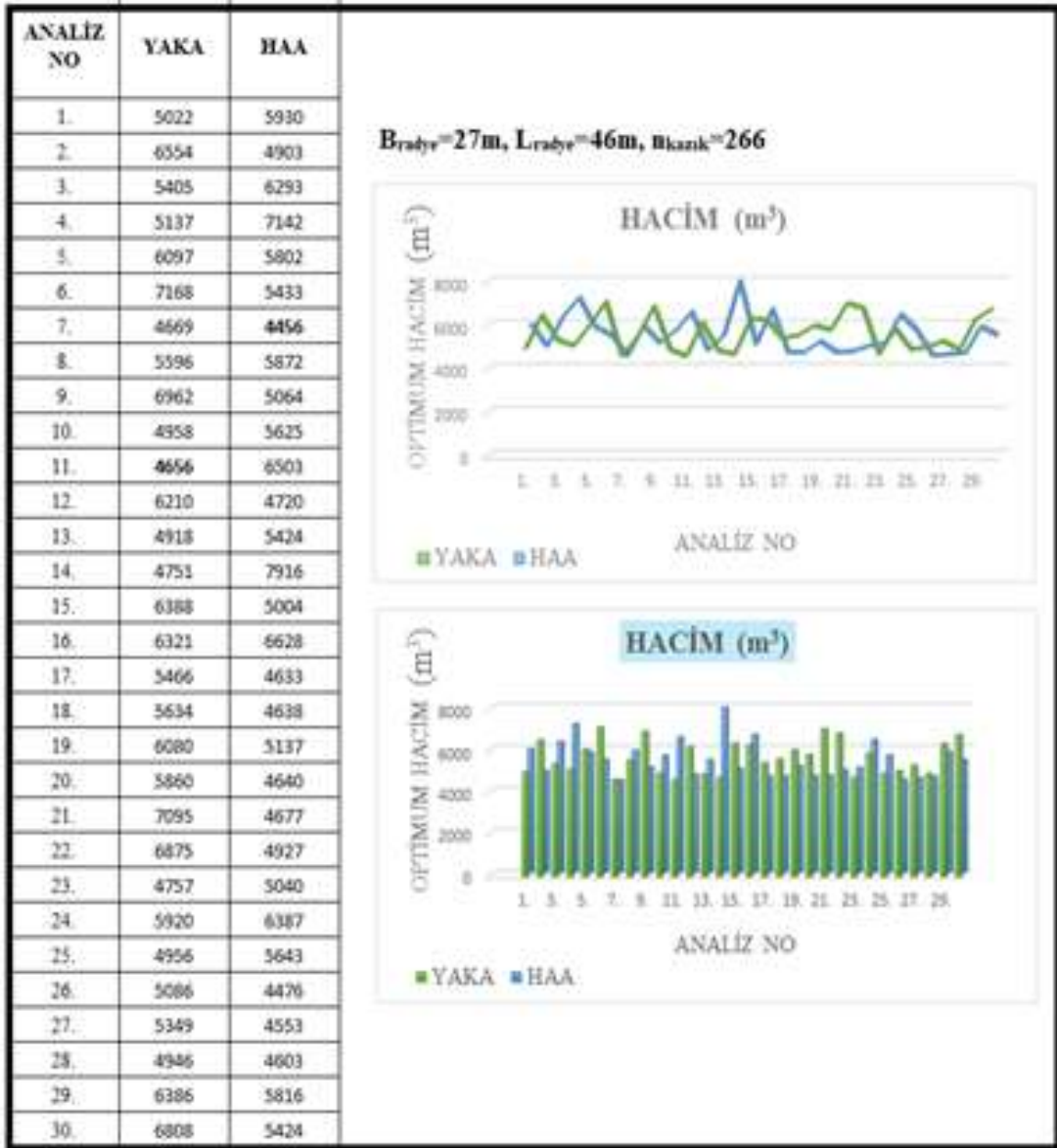


Şekil 8.66. İkinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

İkinci projenin gerçekte seçilen kazık sayısı 234'tür. Buna göre gerçekte kullanılan beton hacmi ile optimizasyon analizleri sonucunda elde edilen beton hacim miktarı karşılaştırılırsa; YAKA analizleri ile %39.5, HAA analizleri ile %42 ekonomiklik gözlemlenmiştir.

Şekil 8.67'de kazık sayısının artırılarak 266 seçilmesi durumunda elde edilen analiz sonuçları yer almaktadır. Analiz sonuçlarına göre YAKA ile optimum beton hacmi 4656 m<sup>3</sup> ve HAA ile optimum beton hacmi 4456 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Buna göre HAA, YAKA'ya göre %4 daha ekonomik bir beton hacmi değeri sunmuştur.

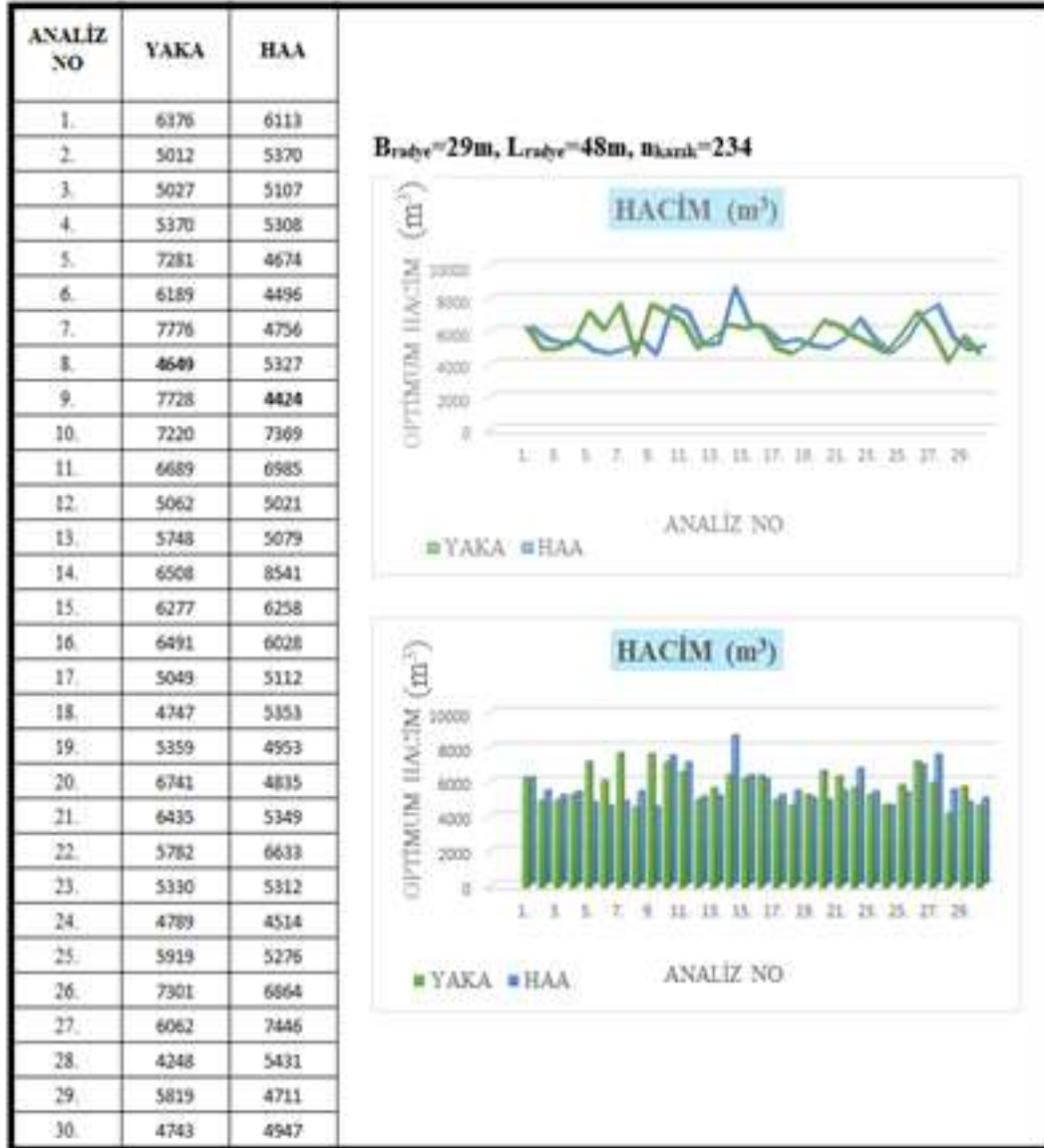




Şekil 8.67. İkinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması,

Şekil 8.68, Şekil 8.69 ve Şekil 8.70’ de radye temel alanının arttırılması sonucunda elde edilen 30 analiz sonucu grafiklerle tanımlanmıştır. Analiz sonuçları radye temel alanının artışına bağlı olarak malzeme verimliliği açısından kıyaslanmıştır.

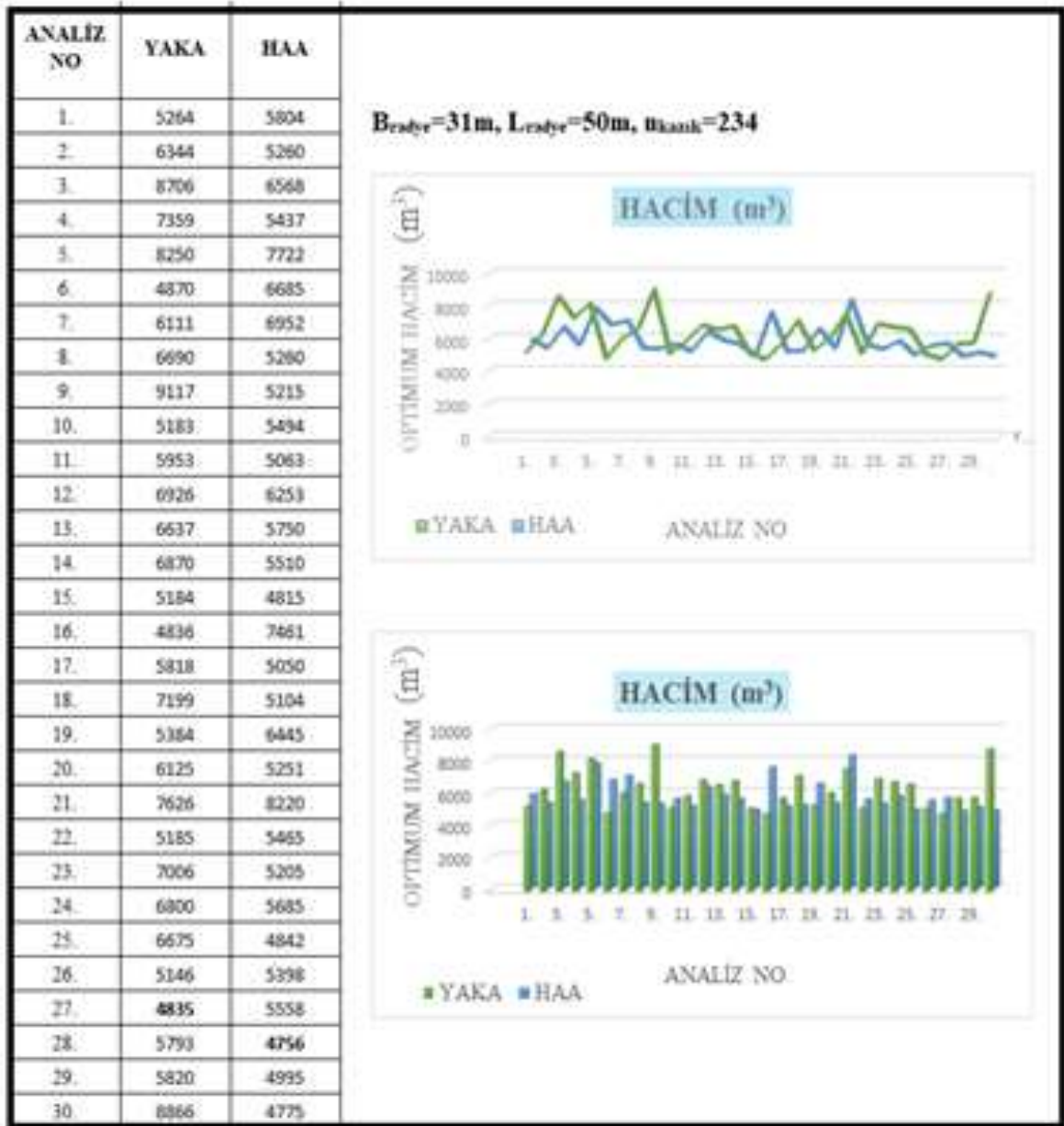
Şekil 8.68’ de radye boyutlarının %12 arttırılması durumunda elde edilen optimum hacim değerleri yer almaktadır. Buna göre YAKA analizleri ile optimum hacmi 4649 m<sup>3</sup> ve HAA analizleri ile optimum hacim 4424 m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Seçilen radye boyutları gerçekteki beton hacmi ile kıyaslanırsa, YAKA analizleri sonucunda %35, HAA analizleri ile %39’luk bir ekonomiklik gözlemlenmiştir. Buna göre HAA, YAKA’ya göre %4 daha ekonomik bir beton hacmi değeri sunmuştur.



Şekil 8.68. İkinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.69 ve Şekil 8.70’de radye alanının %28 ve %38 artırılması sonucunda elde edilen optimum beton hacim değerleri tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

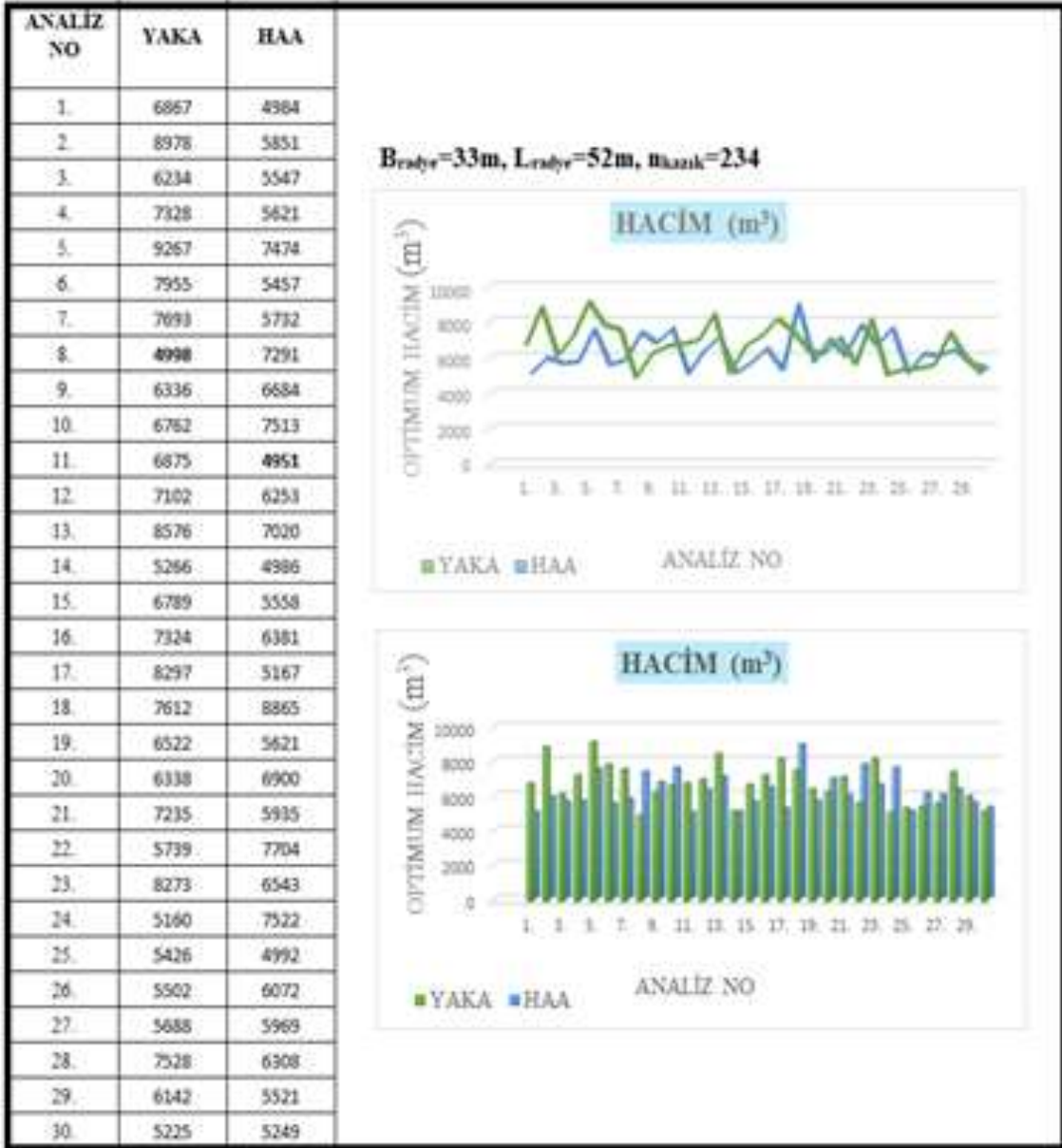
- Şekil 8.69’da elde edilen en optimum hacim değeri YAKA analizlerine göre  $4835 \text{ m}^3$  ve HAA analizlerine göre  $4756 \text{ m}^3$  olarak bulunmuştur. Buna göre radye temel alanındaki %28’lik artış durumunda, YAKA analizleri ile gerçekteki beton hacim miktarında %36, HAA analizleri ile %38 ekonomiklik gözlemlenmiştir. Buna göre HAA, YAKA’ya göre %2 daha ekonomiktir.



Şekil 8.69. İkinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

- Şekil 8.70’de elde edilen en optimum hacim değeri YAKA analizlerine göre 4998 m<sup>3</sup> ve HAA analizlerine göre 4951 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Buna göre radye temel alanındaki %38’lik artış durumunda, YAKA analizleri ile gerçekteki beton hacim miktarında %38, HAA analizleri ile %39 ekonomiklik gözlemlenmiştir. Buna göre HAA, YAKA’ya göre %1 daha ekonomiktir.





Şekil 8.70. İkinci proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

### 8.8.3. Üçüncü projenin YAKA ve HAA için optimum hacim değerlerinin kıyaslanması

Üçüncü projenin genel özellikleri Bölüm 8.7.3'te Çizelge 8.28 ve Çizelge 8.29 ile sunulmuştur. Çok katlı projenin en optimum değerleri YAKA ve HAA ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 8.71, Şekil 8.72, Şekil 8.73, Şekil 8.74, Şekil 8.75, Şekil 8.76 ve Şekil 8.77'de yer alan çizelge ve grafiklerle YAKA ve HAA analiz sonuçları kıyaslanmıştır.

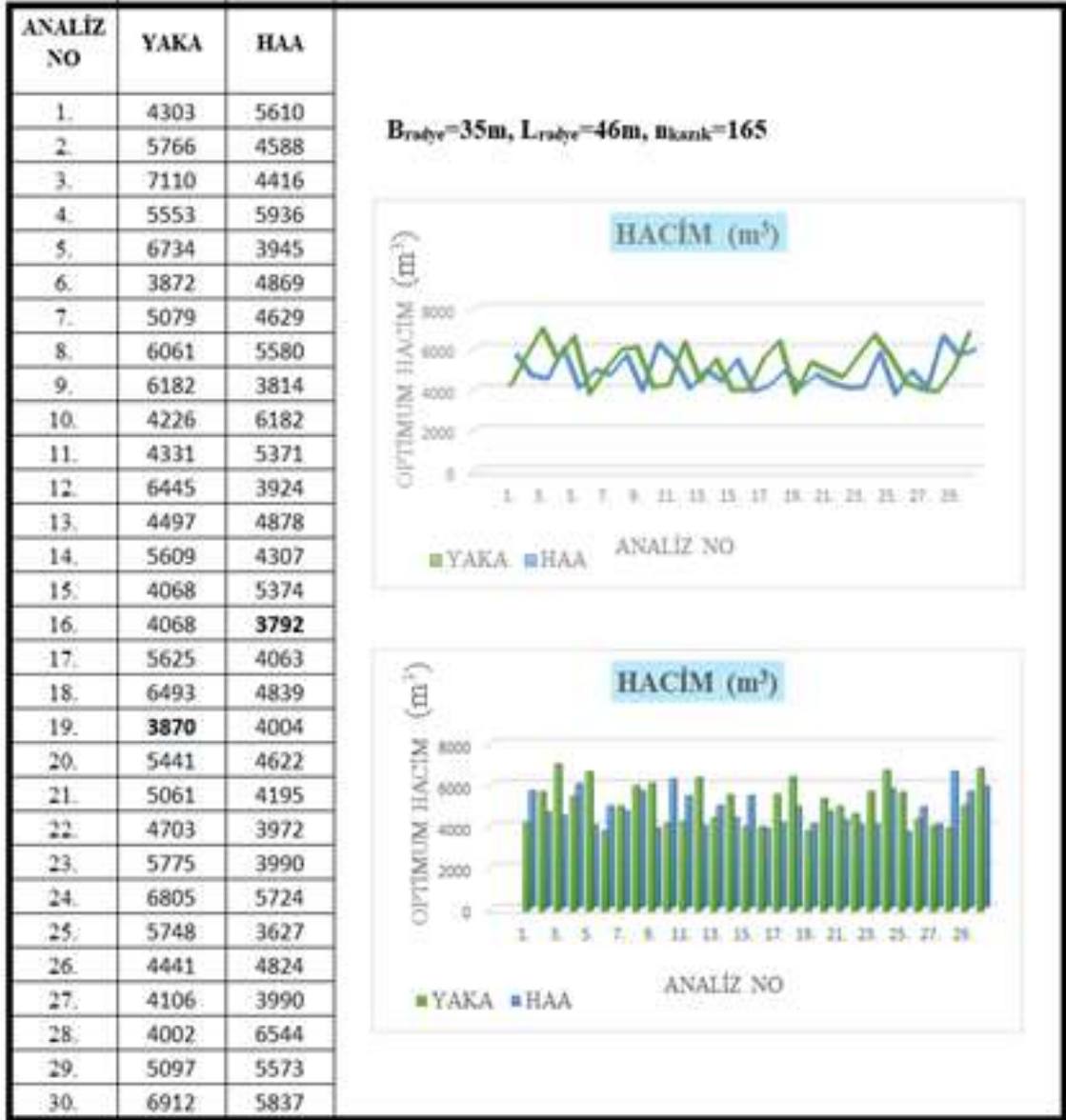
Analiz sonuçlarına göre iki algoritmanın benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir ve Bölüm 8.7.6'da da yüzdesel ifade edildiği üzere HAA, YAKA'ya göre malzeme kullanımı veya diğer bir deyişle beton hacmi bakımından, daha ekonomik çözümler sunmuştur.



Şekil 8.71. Üçüncü proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

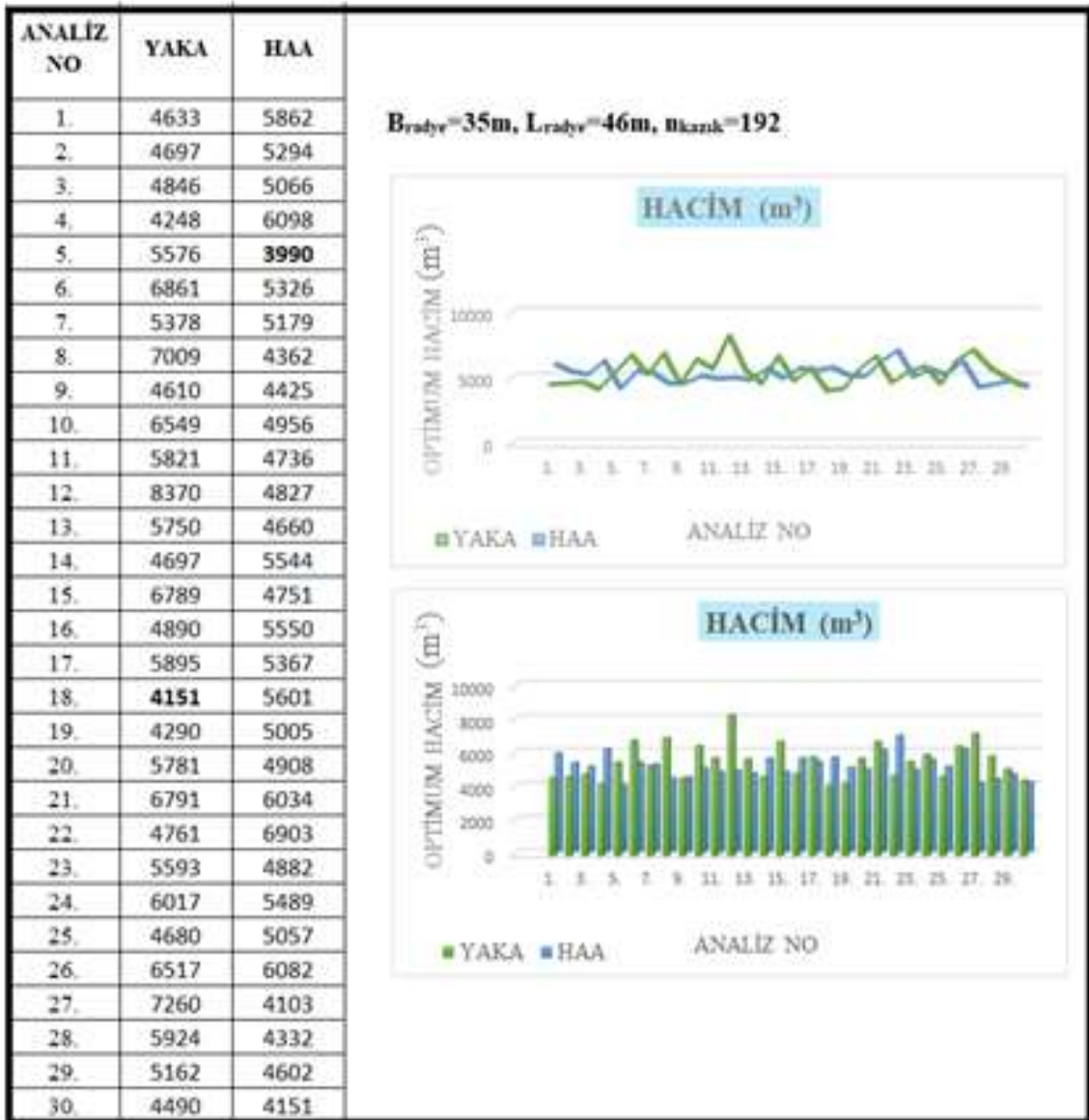
Şekil 8.71'de gerçek boyutlu üçüncü projenin kazık sayısının 140 seçilmesi durumunda YAKA ve HAA analizleri ile elde edilen optimum beton hacim değerleri yer almaktadır. En iyi olduğu düşünülen 30 analiz sonucuna göre YAKA ile optimum hacim değeri 3196 m<sup>3</sup>, HAA analizleri ile 3008 m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Analizlerde radye boyutları ve belirlenen kazık sayısı amaç fonksiyonunda yerine yazılırsa bulunan beton

hacim miktarı ile elde edilen optimum hacim değeri kıyaslanırsa; YAKA'ya göre %34, HAA'ya göre %39 daha ekonomik bir değer elde edilmiştir. Buna göre HAA %5 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur.



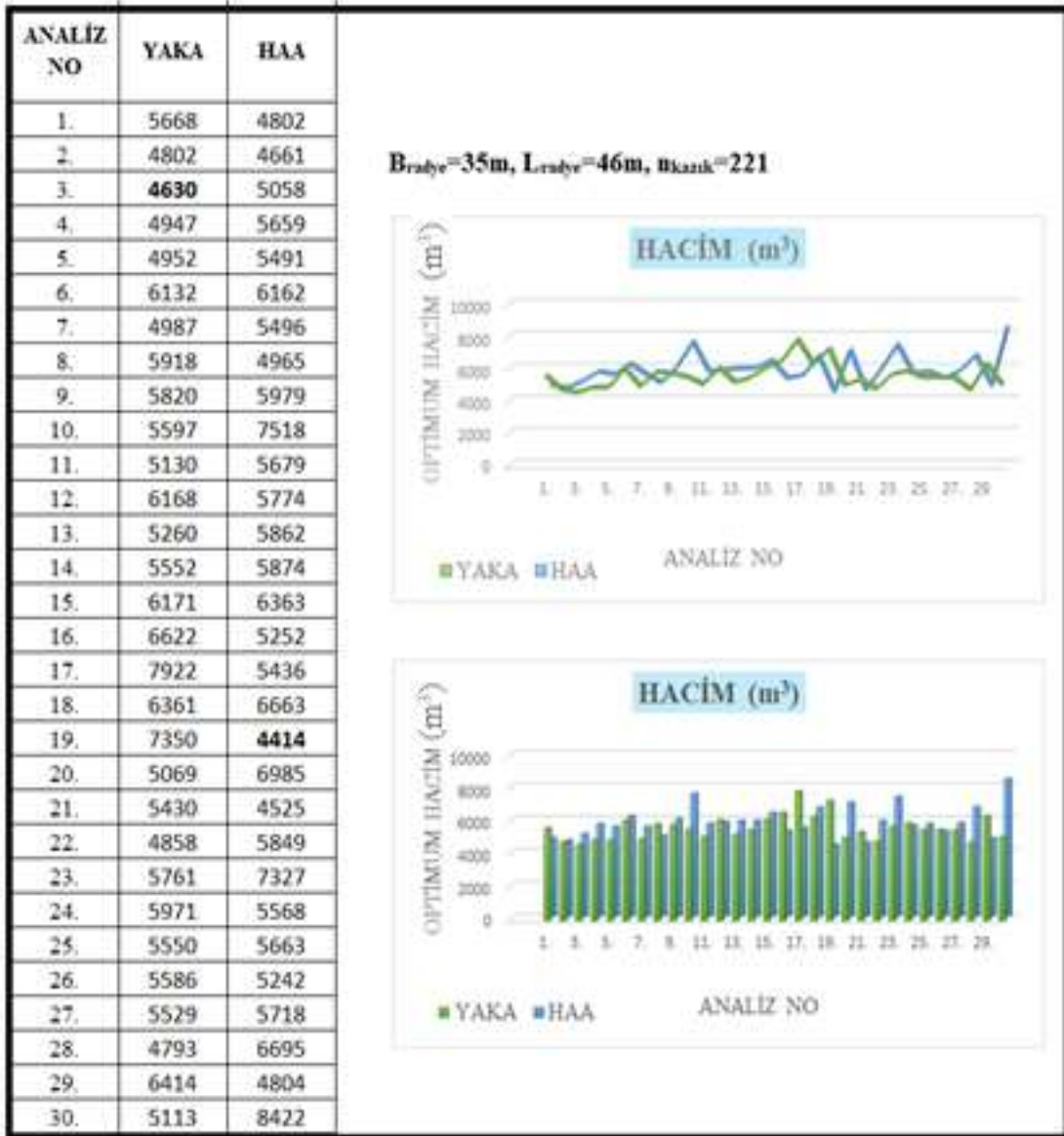
Şekil 8.72. Üçüncü proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.72'de üçüncü projenin kazık sayısının 165 seçilmesi durumunda elde edilen optimum hacim değerleri sunulmuştur. YAKA'ya göre optimum hacim değeri 3870 m<sup>3</sup> ve HAA'ya göre optimum hacim değeri 3792 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Buna göre YAKA gerçekteki beton hacmine göre %24.5, HAA gerçekteki beton hacmine göre %26.5 daha ekonomiktir. Buna göre HAA, YAKA analiz sonuçlarına göre %2 daha optimum bir sonuç vermiştir.



Şekil 8.73. Üçüncü proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Analizlerde optimum boyutları araştırılan üçüncü projenin gerçekteki radye boyutları ve kazık sayısı,  $B_{\text{radye}}=35\text{ m}$ ,  $L_{\text{radye}}=46\text{ m}$  ve  $n_{\text{kazık}}=192$ 'dir. Şekil 8.73'de yer alan optimum değerler projenin gerçekte kullanılan beton hacim değerleri ile kıyaslanmıştır. Buna göre YAKA analizleri ile elde edilen beton hacim değeri  $4151\text{ m}^3$  tür ve gerçekteki beton hacim değerine göre %24 daha ekonomiktir. HAA analizleri ile elde edilen beton hacim değeri  $3990\text{ m}^3$  tür ve gerçekteki beton hacim değerine göre ise %27 daha ekonomiktir. Tespit edildiği üzere; HAA, YAKA'ya göre %3 daha ekonomiktir.

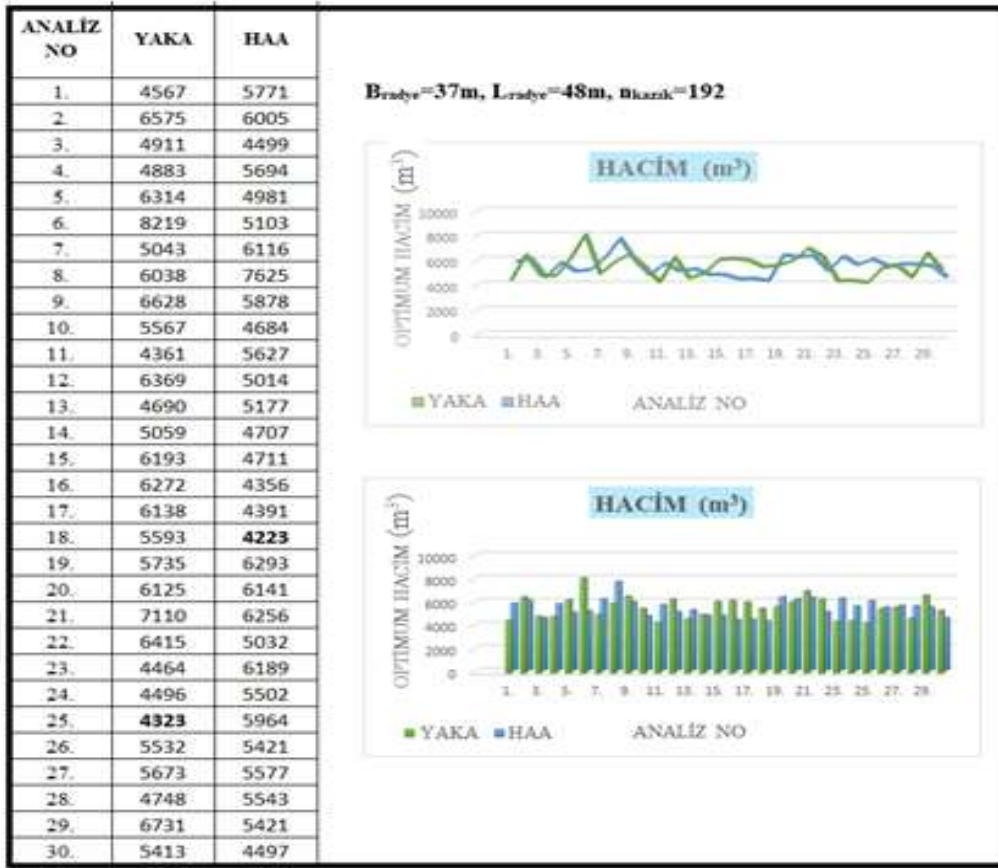


Şekil 8.74. Üçüncü proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

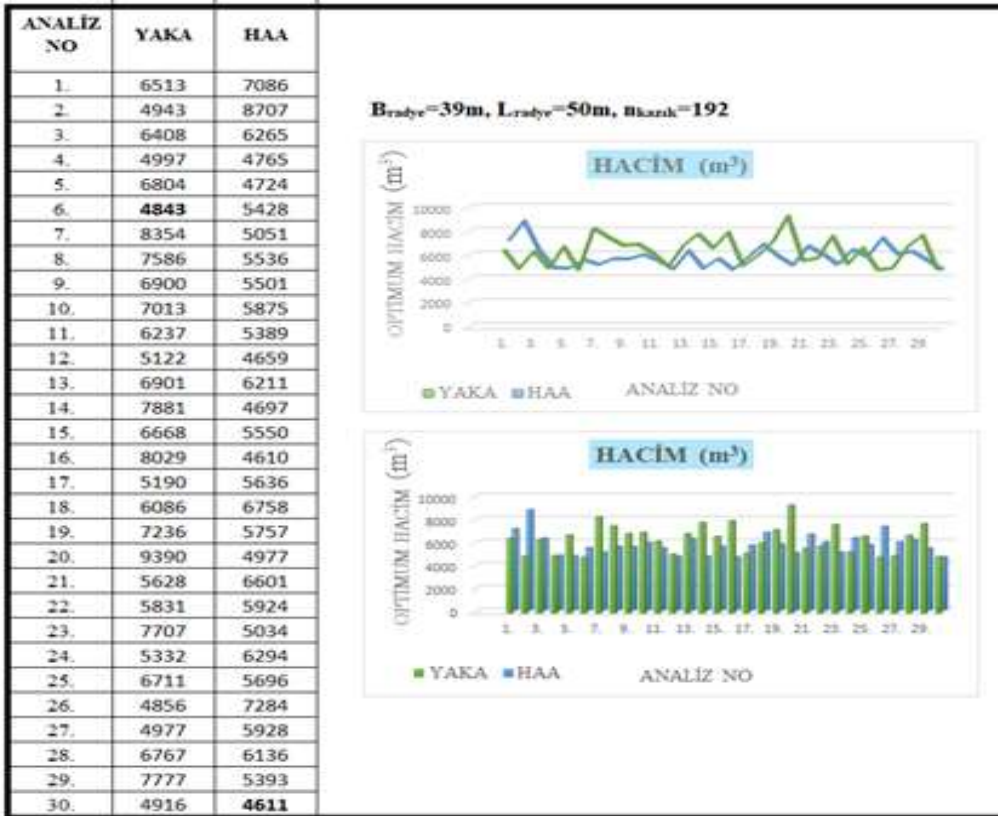
Kazık sayısının artırılarak  $nkazık=221$  seçilmesi durumunda elde edilen optimum hacim değerleri Şekil 8.74'te yer almaktadır. Optimum boyutlara göre elde edilen optimum hacim değeri ile gerçekte kullanılan beton hacim değeri karşılaştırılırsa, YAKA ile %20, HAA ile %25 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur. Buna göre HAA, YAKA'ya göre %5 daha ekonomiktir.

Şekil 8.75, Şekil 8.76 ve Şekil 8.77'de radye boyutlarının artırılması durumunda elde edilen optimizasyon analiz sonuçları tanımlanmıştır. Radye boyutlarının  $B_{radye}=37$  m,  $L_{radye}=48$  m seçilmesi ile radye alanında %11'lik,  $B_{radye}=39$  m,  $L_{radye}=50$  m seçilmesi ile %21'lik ve  $B_{radye}=41$  m,  $L_{radye}=52$  m seçilmesi ile %32.5'lik bir artış meydana gelmiştir.





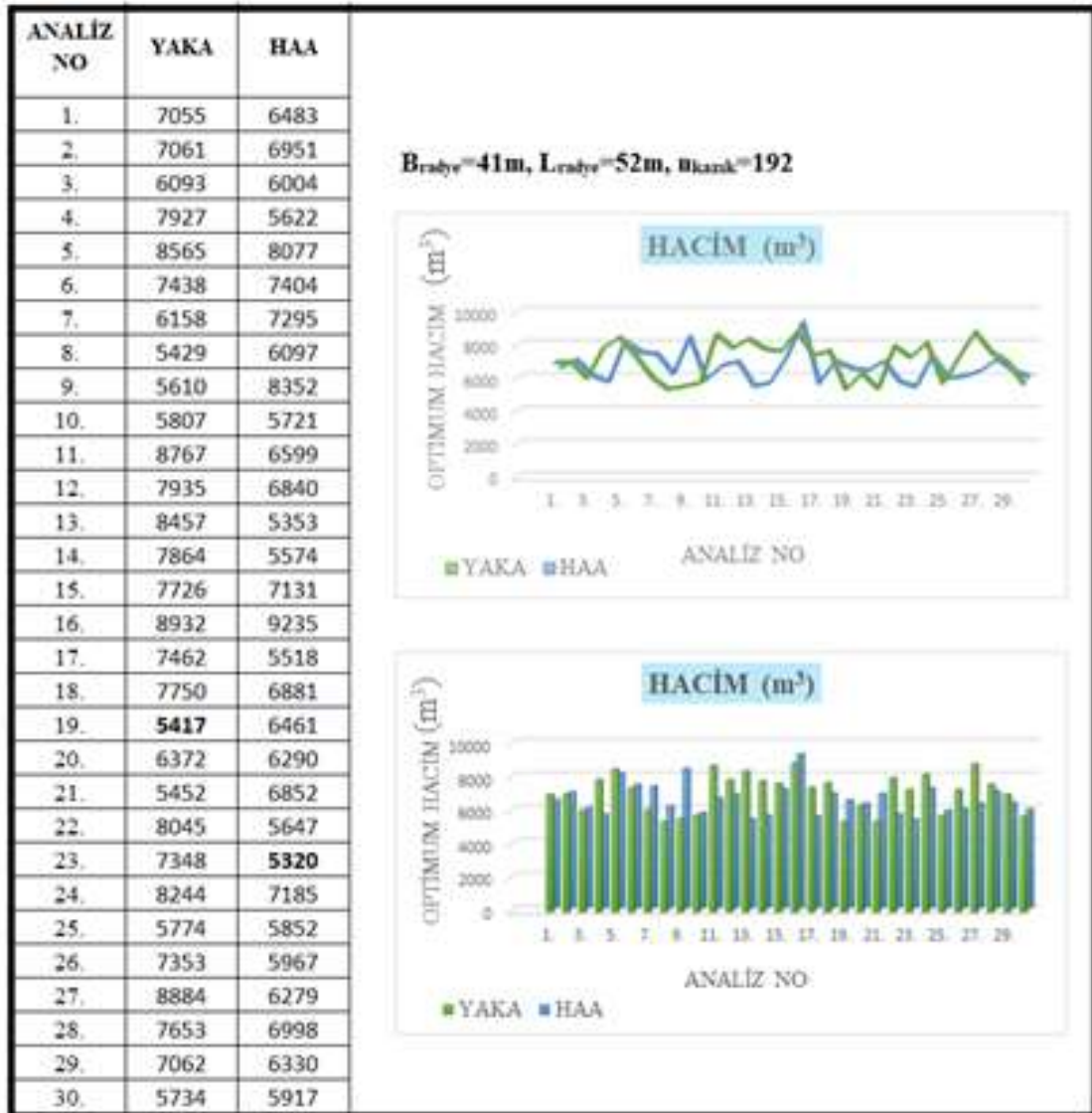
Şekil 8.75. Üçüncü proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8.76. Üçüncü proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Radye temel alanı artırılarak, YAKA ve HAA analizleri ile elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Şekil 8.75'te yer alan analiz sonuçlarına göre radye temel alanının %11 artırılması sonucunda, gerçekteki beton hacim miktarına göre YAKA ile %25, HAA ile %27 daha optimum hacim değeri elde edilmiştir.
- Şekil 8.76'da yer alan analiz sonuçlarına göre radye temel alanının %21 artırılması sonucunda, gerçekteki beton hacim miktarına göre YAKA ile %21, HAA ile %25 daha optimum hacim değeri elde edilmiştir.
- Şekil 8.77'de yer alan analiz sonuçlarına göre radye temel alanının %32.5 artırılması sonucunda, gerçekteki beton hacim miktarına göre YAKA ile %18, HAA ile %21 daha optimum hacim değeri elde edilmiştir.



Şekil 8.77. Üçüncü proje YAKA-HAA amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 9.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında, kazıklı radye temellerin tasarımını etkileyen faktörler birçok açıdan incelenmiştir. Temel boyutları belirlenirken hem ekonomik hem güvenli tarafta kalan çözümlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında ilk olarak, kazıklı radye temellerin boyut değişimini etkileyen faktörler, oturma davranışı esas kabul edilerek, matematiksel problemler geliştirilmiş ve araştırılmıştır. Geliştirilen matematiksel model ile Randolph yöntemi kullanılarak bir kod dizilimi yazılıp incelenmiştir. Yazılan hesap kodunun oturma miktarını pratik bir şekilde hesaplaması ve zemin parametrelerini dikkate alması gibi durumlar düşünüldüğünde tasarımcılara kolaylık sağlayabileceği düşünülmektedir. Randolph hesap kodunda, optimizasyon analizlerinde kullanılan üç projeden birisi olan ikinci projenin yapı ve zemin özellikleri, değişen parametre değerleri ile oturma miktarı değişimi incelenmiştir. Analizlerle, parametrelerin değişimine bağlı olarak, oturma miktarı üzerinde oluşan değişim yorumlanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, belirlenen amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar dikkate alınarak 2 farklı algoritma ile optimizasyon kodu yazılmıştır. Yazılan kodlar üzerinden gerçek boyutlu üç projenin matematiksel problem modelleri dikkate alınarak, analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda algoritmalar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Yazılan algoritma kodları ile elde edilen optimum boyutların kullanılması durumunda, ekonomik açıdan beton hacminde % olarak ne kadarlık bir kar elde edilebileceği araştırılmıştır. Yapılan çalışmaların bu şekilde özetlenmesinin ardından, elde edilen sonuçlar şu şekilde izah edilebilir.

#### 9.1.1. Kazıklı radye temellerin boyut etkisinin Randolph yöntemi ile analiz sonuçları

Kazıklı radye temellerin boyutlandırılmasında, tasarım değişkenleri, kazık uzunluğu, radye kalınlığı, radye genişliği ve radye uzunluğudur. Bu durumlar göz önüne alınarak, bu tez çalışmasında, Randolph metodu tabanlı bir hesap kodu yazılmış ve parametrelerin değiştirilmesi durumunda, boyutlandırmada meydana gelen değişim, aynı şekilde oturma miktarı baz alınarak incelenmiştir. Yazılan koda uyumlu olarak tez içerisinde genel özellikleri tanımlanan gerçek boyutlu projelerden birinin matematiksel problem modeli Randolph hesap koduna tanımlanmıştır. Tasarım değişkenleri olarak;



kazık sayısı ve yerleşim düzeni, kazıklar arası mesafe ve radyeye etki eden net gerilmedeki artış seçilmiştir. Tasarım değişkenleri farklı değer aralıklarında koda tanımlanarak oturma değerleri hesaplanmıştır. Parametrelere göre oturma miktarındaki değişim yorumlanmıştır.

- **Kazıklar Arası Mesafe Değişiminde Elde Edilen Sonuçlar:** Tekil kazığın oturma davranışı ile kazık grubunun oturma davranışı arasında farklılık gözlenmektedir. Bunun nedeni, kazık-zemin-kazık etkileşimidir. Bu durumun oluşmasında kazıklar arası mesafedeki değişim önem arz etmektedir. Kazık-kazık etkileşimi taşınan yük miktarını ve oluşan oturma değerlerini etkilemektedir. Gerçekte uygulanan kazıklar arası mesafe değerleri dikkate alınarak analizler 1.6-2.2m arasında seçilmiştir. Analizler sonucunda, Randolph hesap koduna göre, kazıklar arası mesafe miktarının %37.5'lik arttırılması durumunda, oturma miktarında yaklaşık %16 oranında bir azalım gözlemlenmiştir. Literatürle yapılan çalışmalarla uyumlu bir sonuç olduğu düşünülmektedir. Tez içerisinde yer alan sonuçlardan da görüldüğü gibi kazıklar arası mesafe arttıkça, kazık-kazık etkileşimi azaldığı için, oluşan oturma değerlerinde azalım gözlemlenmiştir.
- **Radyeye Etki Eden Net Gerilmenin Artması Durumunda Elde Edilen Sonuçlar:** Kazıklı radye temellerde, radyeye gelen gerilmenin artması ile kazığa etki eden gerilmede de artış gözlemlenmektedir. Analizlerde radyeye etki eden gerilme 250-450 kPa arasında değişmektedir. Randolph hesap kodunda, radyeye etki eden net gerilmenin yaklaşık olarak %80 arttırılması durumunda, oturma miktarında yaklaşık %82'lik bir artış meydana gelmiştir.
- **Kazık Sayısı Değişiminin Oturma Davranışına Etkisi:** Kazıklı radye temel sistemlerinde, kazık-zemin-kazık etkileşiminden dolayı oluşan grup etkisi dikkate alınarak, optimum kazık sayısının belirlenmesi önemli bir konudur. Çünkü kazık sayısı ve yerleşim düzeni, temel sisteminin oturma miktarının belirlenmesinde önemli etkenlerden biridir. Temel sistemindeki kazık sayısının arttırılması ile taşıma kapasitesinde artış olurken, oturma miktarında da azalım oluşmaktadır. Fakat kazıklar arası etkileşim ile oluşan grup etkisinden dolayı, optimum kazık sayısının hem ekonomi hemde grup etkisi açısından değerlendirilerek belirlenmesi önemli bir konudur. Kazık sayısının artması durumunda, oturmanın değişmediği kazık sayısı, ilgili temel sisteminin

optimum kazık sayısıdır. Analizlerde kazık sayısı 150 ile 234 aralığında değiştirilerek oturma miktarları hesaplanmıştır. Dolayısı ile Randolph hesap kodunda değişen kazık sayısı ve yerleşim düzeni ile analizler yapılmış, oturma davranışına etkisi araştırılmıştır. Kazık sayısının arttırılması ile, oturma miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

### **9.1.2. Kazıklı radye temellerin algoritmalarla optimum boyut ve hacim değerlerinin analiz sonuçları**

Optimizasyon bir problemin çözümünde en iyi yolun tespit edilmesidir. Oluşturulan problem ilk olarak, modellenir ve formülasyon haline getirilir. Daha sonra farklı yazılımlar kullanılarak optimum çözümlerin elde edilebilmesi amacı ile analiz edilir. Bu tez çalışmasında da üç farklı gerçek boyutlu kazıklı radye temel sistemi, belirlenen amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonlar ile iki farklı algoritma kullanılarak, analiz edilmiş ve optimum beton hacim değerleri hesaplanmıştır. Farklı radye boyutları ve farklı kazık sayısında, elde edilen kazık çapı, kazık uzunluğu ve radye kalınlığı ile optimizasyon analizleri yapılmıştır. Optimizasyon analizlerinde “Yapay Arı Koloni Algoritması” ve “Harmoni Arama Algoritması” kullanılmıştır. Algoritma sonuçları birbirleri ile kıyaslanarak yorumlanmıştır. Analizlerin doğruluğunun gösterilebilmesi adına, hem Randolph analizleri, hemde optimizasyon analizleri için literatür dikkate alınarak doğrulama çalışması yapılmıştır. Tasarım değişkenleri  $x(1)$ , kazık çapını,  $x(2)$ , kazık uzunluğunu ve  $x(3)$  ise radye kalınlığını temsil etmektedir. Analizlerde iki farklı yaklaşım benimsenmiştir.

- İlk olarak projelerin radye boyutları sabit tutulmuş, kazık sayıları değiştirilmiş ve optimizasyon analizleri yapılmıştır. Optimum temel boyutları ile de optimum hacim değerleri hesaplanmıştır.
- İkinci analiz yaklaşımında ise, kazık sayısı sabit tutulmuş, radye boyutları değiştirilerek, optimizasyon analizleri yapılmış ve optimum boyutlara göre optimum beton hacim değerleri tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre beton hacminde yüzdesel olarak elde edilen ekonomiklik yorumlanmıştır.

#### **9.1.2.1. Birinci projenin optimizasyon analiz sonuçları**

Optimum boyutları analiz edilen birinci proje çok katlı bir konut projesidir. Projenin genel özellikleri tez içerisinde sunulmuştur. Proje benimsenen iki yaklaşıma

göre YAKA ve HAA algoritmalarında analiz edilmiş ve elde edilen optimum hacim değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar algoritmalar açısından kıyaslanmıştır ve şu şekilde sıralanabilir.

- Kazık sayısının 171 olarak seçilerek analiz edilmesi durumunda HAA ve YAKA analiz sonuçları arasında uyumlu sonuçlar görülmüş ve 30 analiz sonucu arasında bir değerlendirme yapılacak olursa, HAA yaklaşık olarak %4 daha ekonomik bir beton hacmi değeri sunmuştur.
- Kazık sayısının 200 seçilmesi durumunda HAA aynı şartlarda YAKA'ya göre %5 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur.
- Kazık sayısının 231 seçilmesi durumunda HAA, YAKA'ya göre %5 daha ekonomik bir beton hacmi değeri vermiştir.
- Projenin gerçek kazık sayısı değeri 264' tür. Gerçek boyutlu projenin kazık sayısına göre analizler yapıldığı takdirde projenin gerçekteki beton hacmi değerine göre YAKA analizlerindeki en optimum beton hacminde %27'lik bir ekonomiklik sağlanabilmektedir. HAA analizlerine göre ise %31'lik bir ekonomiklik sağlanabilmiştir. Algoritma sonuçlarına göre en optimum hacim değerleri kıyaslanır ise HAA %4 daha ekonomik bir sonuç sunmuştur.
- Kazık sayısının 299 olarak seçilmesi durumunda HAA aynı şartlarda yapılan analizlere göre %2 daha ekonomik sonuç vermiştir.
- İkinci yaklaşıma göre kazık sayısı sabit tutularak, radye boyutları değiştirilmiş ve optimizasyon analizleri yapılmıştır. Radye temel alanının gerçek proje boyutlarına göre %8, %15.5, %24 ve %32 arttırılması ile optimum hacim değerleri hesaplanmıştır. YAKA ve HAA analizleri birbirleri ile uyumlu sonuçlar vermiştir. HAA analizleri sonucunda elde edilen optimum hacim değeri YAKA'ya göre %8'lik radye alanı artışında %6, %15.5'lik radye alanı artışında %3, %24'lük radye alanı artışında %3 ve %32'lik radye alanı artışında %4 daha ekonomik sonuçlar vermiştir.

#### **9.1.2.2. Gerçek boyutlu ikinci projenin optimizasyon analiz sonuçları**

İkinci projede çok katlı bir konut projesidir. Aynı şekilde hem radye boyutları, hem de kazık sayısı değiştirilerek HAA ve YAKA optimizasyon kodları ile optimum hacim değerleri hesaplanmıştır. Analizler sonucunda her iki algoritmanında uyumlu

sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İki yaklaşıma göre de elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

- Kazık sayısının 176 olarak seçilmesi durumunda HAA analiz sonuçlarının YAKA'ya göre %5, kazık sayısının 204 seçilmesi durumunda %4.5, kazık sayısının 234 seçilmesi durumunda %4.7 ve kazık sayısının 266 seçilmesi durumunda %4 daha ekonomik beton hacmi değerleri elde edilmiştir. Seçilen kazık sayılarının yerleşim düzeni EK'ler bölümünde sunulmuştur.
- Projenin gerçekteki kazık sayısı 234'ün analizlerde seçilmesi durumunda, kazık çapı, kazık uzunluğu ve radye temel kalınlığının gerçekteki boyutları ile optimizasyon analizleri sonucu elde edilen optimum değerleri kıyaslanırsa, kazık çapında %12.5'lik bir ekonomiklik, kazık uzunluğunda %36'lık bir ekonomiklik ve radye temel kalınlığında %32'lik bir ekonomi sağlanmıştır. Beton hacminin kullanımında ise YAKA analizleri ile gerçekteki beton hacmine oranla yaklaşık olarak %39.5, HAA analizleri ile gerçekteki beton hacmine oranla %42'lik bir ekonomiklik sağlanmıştır.
- İkinci yaklaşıma göre radye temel alanı %12, %28 ve %38 artırılarak YAKA ve HAA ile optimum beton hacim değerleri hesaplanmıştır. YAKA analizleri sonucunda elde edilen optimum hacim değerlerine göre; %12'lik radye temel alanı artışında %35, %28'lik radye temel alanı artışında %36 ve %38'lik radye temel artışında %38'lik bir ekonomi sağlanmıştır. HAA analizlerine göre ise; %12'lik radye temel alanı artışında %39, %28'lik radye temel alanı artışında %38 ve %38'lik radye temel artışında %39'luk bir ekonomi sağlanmıştır. YAKA ve HAA analizleri sonucu elde edilen optimizasyon sonuçları kıyaslanırsa, HAA analizleri YAKA analizlerine göre; %12'lik radye temel alanı artışında %4, %28'lik radye temel alanı artışında %2 ve %38'lik radye temel artışında %1 daha ekonomik sonuçlar vermiştir.

### 9.1.2.3. Gerçek boyutlu üçüncü projenin optimizasyon analiz sonuçları

Gerçek boyutlu üçüncü projede çok katlı ve önceki yıllarda yapımı tamamlanmış kompleks bir yapı projesidir. Diğer iki projede olduğu gibi kazık sayısı ve radye temel boyutları değiştirilerek, YAKA ve HAA ile optimizasyon analizleri yapılmıştır. Optimizasyon analizleri sonucu elde edilen hacim değerleri hem algoritmalar içerisinde,

hemde projenin gerçek boyutlarına göre elde edilen beton hacmi değerlerine göre yüzdesel olarak ekonomiklik açısından incelenmiştir. İki yakalaşıma göre de elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

- Projenin gerçekteki kazık sayısı 192'dir. Analizlerde seçilen kazık sayıları ise, 140, 165, 192 ve 221'dir. Kazık sayısı değişiminde, YAKA ve HAA için uyumlu ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Gerçek proje boyutları ile elde edilen beton hacminde, kazık sayısının 140 seçilmesi durumunda YAKA analizleri ile %34, HAA ile %39; 165 seçilmesi durumunda YAKA ile %24.5, HAA ile % 26.5 ve 221 seçilmesi durumunda YAKA ile %20, HAA ile %25 daha ekonomik değerler elde edilmiştir.
- Kazık sayısı değişimi durumunda YAKA ve HAA optimizasyon analizleri kıyaslanırsa; kazık sayısının 140 olması durumunda HAA, YAKA'ya göre %5, kazık sayısının 165 olması durumunda HAA, YAKA'ya göre %2 ve kazık sayısının 221 olması durumunda HAA, YAKA'ya göre %5 daha ekonomik beton hacmi değeri sunmuştur.
- Kazık sayısının 192 seçilmesi durumunda, projenin gerçekteki boyutları üzerinden değerlendirmeler yapılabilmektedir. YAKA analizleri ile beton hacminde %24'lük bir azalım gözlemlenmiştir. YAKA ile uyumlu olarak, HAA analizleri ile gerçekteki beton hacminde %27'lik bir ekonomiklik oluşmuştur. Bu sonuçlara göre HAA aynı şartlarda YAKA analizlerine göre beton hacminde %3 daha ekonomik bir sonuç vermiştir.
- İkinci yaklaşıma göre radye temel boyutları değiştirilmiş, projenin gerçek kazık sayısı değeri sabit tutularak, YAKA ve HAA optimizasyon analizleri yapılmıştır. Radye temel alanının %11 arttırılarak analiz yapılması sonucunda kullanılan beton hacminde; YAKA analizleri ile %25, HAA analizleri ile %27 ekonomiklik, radye temel alanının %21 arttırılarak analiz yapılması sonucunda; YAKA analizleri ile %21, HAA analizleri ile %25 ekonomiklik ve radye temel alanının %32.5 arttırılarak analiz yapılması sonucunda; YAKA analizleri ile %18, HAA analizleri ile %21 ekonomiklik sağlanmıştır.
- Analizler sonucunda, %11'lik radye temel alan artışında HAA, YAKA'ya göre %2, %21'lik radye temel alan artışında HAA, YAKA'ya göre %4 ve %32.5'lik radye temel alan artışında HAA, YAKA'ya göre %3 daha ekonomik sonuç vermiştir.

### 9.1.3. Genel sonuçlar

Bu tez çalışmasında elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde, şu şekilde sıralanabilir:

- Kazıklı radye temellerin tasarımında, birçok faktörün dikkate alınarak, farklı yol ve yöntemlerle araştırılabilir olduğu,
- Randolph hesap metodunun tasarımı yapılan kazıklı radye temel modelleri için oturma miktarını veren hızlı bir method olduğu,
- Metasezgisel yöntemler kullanılarak, geliştirilen algoritmalar yardımı ile kazıklı radye temel analizlerinin yapılabilir olduğu,
- Yapay arı koloni algoritması ve harmoni arama algoritmasının belirlenen amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonlar yardımı ile kazıklı radye temellerin beton hacminin hesaplanabilir olduğu,
- Kullanılan amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonların farklı metasezgisel algoritmalarda kodları yazılarak, optimizasyon analizlerinin yapılabilir olduğu gözlemlenmiştir.

### 9.2. Öneriler

Bu tez çalışması kapsamında kazıklı radye temel sistemlerinin boyut etkisi farklı yazılım ve yöntemlerle, oturma davranışı dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar doğrultusunda, gelecekte yapılacak çalışmalara aşağıdaki öneriler maddeler halinde sunulmuştur.

- Randolph yöntemi oturma davranışı esaslı çalışan bir matematiksel formül dizilimidir. Gelecekte yapılan çalışmalarda kullanılabilir olduğu gösterilmiştir. Yazılan formül diziliminde zemin tek bir tabaka gibi düşünülerek çalışmaktadır. Fakat gelecekte ki çalışmalarda formül dizilimi geliştirilerek zemin yapısı modellenebilir. Ayrıca formül dizilimine YASS faktörü dahil edilerek, hesap yöntemi düzenlenebilir.
- Kazıklı radye temel sistemleri, kazıklar arası mesafe değiştirilerek modellenebilir ve bu sayede de kazıkların grup etkisinin, oturma miktarına etkisi analiz edilebilir ve grafikleri çizilebilir.
- Yazılan Randolph kodu ile PLAXIS, ELPLA, GEO5 vb. yazılımlar kullanılarak, sonuçların karşılaştırabilmesi için, ortak bir problem tanımlanarak, analizlerde elde edilen oturma miktarları incelenebilir.

- Randolph kodu, yazılan algoritmalara dahil edilerek, yani birlikte çalışmalarını sağlanarak, optimum boyutları ve beton hacminin hesaplanmasının yanı sıra oturma değerleri de modellenen kazıklı radye temel sistemleri için hesaplanabilir.
- Bu çalışma kapsamında kullanılan amaç fonksiyonu ve sınırlayıcı fonksiyonlar farklı algoritmalara yazılarak, gelecek çalışmalarda da kullanılabilir.
- Kazıklı radye temelin beton hacmini minimize etmeyi amaçlayan çalışmalar artırılarak ekonomik çözümler geliştirilebilir.
- Yazılan algoritma kodlarına benzer olarak, farklı radye ve zemin özelliklerine sahip tasarımlar yapılarak, optimum boyutlar araştırılabilir. Kazıklı radye temel sistemleri için yapılan araştırmaların artırılması ile modellemedeki ki boyut etkisi incelenebilir.



## KAYNAKLAR

- Akay, B. ve Karaboga, D., 2012, A modified artificial bee colony algorithm for realparameter optimization, *Information sciences*, 192, p. 120-142.
- Akin, A., Saka, M., 2010, Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using the harmony search algorithm.
- Alnuaim, A., Naggar, H., Naggar, H., 2017. Evaluation of piled raft performance using a verified 3D nonlinear numerical model, 18.th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, August, Paris, France.
- Alver, O., Özden, G., 2014. Tabakalı zeminlerde kazıklı radye temellerin optimum tasarımı, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, Sayı: 49, Sayf:13-26, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Alver, O., 2015. Kazıklı radye temellerin optimizasyonu üzerine bir çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Ateş, B., 2019. Kumlu zemindeki kazıklı radye temellerin davranışlarının deneysel ve nümerik yöntemlerle araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, s. 241.
- Bağrıaçık, B., 2015. Kohezyonsuz zeminlerde düşey yüklü kazıklı radye temellerin analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Bakholdin. B.V., 2003. Piled-raft foundations Design and characteristics of construction procedures. *Soil Mechanics and Foundation Engineering.*, 40.(5). 185-189.
- Bengtars, A., Valjamets, E., (2014). Optimization of pile groups: A practical study using Genetic Algorithm and direct search with four different objective functions, Master Thesis, Structural Design and Bridges, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Bhartiya, P., Basu, D., Chakraborty, T., 2021. Nonlinear settlement of piled rafts in sandy soil. *International Journal of Geomechanics*, 21(11), ISSN 1532-3641.
- Birand, A. A., 2007. Kazıklı temeller, 2. Baskı, *Teknik Yayınevi*, Ankara.
- Bolin, H. W., 1941. The pile efficiency formula of the uniform building code, *Building Standarts Monthly*, 10, 1, p. 4-5.
- Bowles, J., E., 1996. *Foundation analysis and design*, 5th ed., The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Briaud, J.L. ve Jeanjean, P., 1985. Load settlement curve method for spread footings on sand, vertical and horizontal deformations of foundations and embankments, *ASCE*, 2, 1774-1804.
- Brinch Hansen, J., 1961. The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces. Danish Geotechnical Institute (Geoteknisk Institut) Bull. No. 12, 5-9.



- Brown, P. T. 1969. Numerical analyses of uniformly loaded circular rafts on deep elastic foundations. *Geotechnique* 19 (3), 399-404.
- Burland, J. B., 1995. Piles as settlement reducers, 19th National Italian Geotechnical Conference, Pavia, Italy, 21-34.
- Carbas, S. ve Saka, M., 2009, Optimum design of single layer network domes using harmony search method.
- Cao. X.D., Wong. I.H., Chang. M., 2004. Behavior of model rafts resting on pile-reinforced sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 130 (2). 129-138.
- Caputo, V., Viggiani, C., 1984. Pile foundation analysis: A Simple approach to nonlinearity effects, riv. It. Di Geotechnica, Vol. 18, No. 1, P.32-51.
- Chan, C.M., Zhang, L.M., Ng JTM., (2009). Optimization of pile groups using Hybrid Genetic Algorithms, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135 (4): 497-505.
- Chow. H.S.W., Small. J.C., 2005. Behaviour of piled rafts with piles of different lengths and diameters under vertical loading. *Advances in Deep Foundations*. doi: 10.1061/40778(157)20 1-15.
- Coduto, D. P., 2001. *Foundation design: Principles and practices*, Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River NJ.
- Çarbaş, S., ve Saka, M., 2009. Optimum design of single layer network domes using harmony search method.
- Çimen, Ö., Osmanoğlu, U., 2021. Suya doymun killi zeminde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyona dayalı optimizasyonu: Kıbrıs Adası örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 9. (2), 641-654.
- Çinicioğlu, S.F., 2005. Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü anlayışı ve hesabı, İmo İstanbul Seminer, İstanbul.
- Das, M. B., 1999. *Principles of foundation engineering*, Pws-Kent Pub., California, Ground Engineering, 6, 30-42.
- Das, B., 1999. *Shallow foundations: Bearing capacity and settlement*. CRC Press, U.S.A.
- Demiröz, A., Tan, Ö., 2008. Donatılı zeminler üzerindeki sürekli temellerin oturmasını etkileyen faktörlerin araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23 (3), 13-24.
- Deshpande, S.S. ve Thakare, S.W., 2017. Performance of piled raft foundation subjected to non-uniform load, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8, 4, 1603-1613.

- Dorigo M., Maniezzo, V., Colomi, A., 1997. The ant system: an autocatalytic optimizing process. Tech. Rep. No. 91- 016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
- Duran, İ., 2017. İstanbul Avrupa yakası batı bölgesi zeminlerinin geotekniği ve zemin-temel-yapı etkileşimi, Doktora Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Erdemir, N., ve Okur. V., 2011. Kazık gruplarının sismik etki altındaki performansı, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24, No.1- 91-107.
- Eslami, A. ve Fellenius, B. H., 1995. Pile capacity estimated from CPT data, 14.ICSMGE, Hamburg, 1. Baskı, 91-94.
- Fesanghary, M., Mahdavi, M., Jolandan., M.M., and Alizadeh, Y. 2008. Hybridizing harmony search algorithm with sequential quadratic programming for engineering optimization problems. *Computer Methods Application Mechanical Engineering*, 197(33-40), 3080-3091.
- Fioravante. V., Giretti. D., Jamiolkowski. M., 2008. Physical modeling of raft on settlement reducing piles. *Symposium Honoring Dr. John H. Schmertmann for His Contributions to Civil Engineering at Research to Practice in Geotechnical Engineering Congress 2008*. New Orleans. Louisiana. United States. March 9-12.
- Fioravante. V., Giretti. D., 2010. Contact versus noncontact piled raft foundations. *Can. Geotech. J.*, 47. 1271–1287.
- Frisch, K. R., 1927, *Aus dem leben der bienen (Arıların hayatından)*, Springer Verlag, Berlin.
- Garg, P., Singh, H., 2013. Optimization of piled-raft foundation, conference paper, March.
- Geem, Z.W., Kim, J.H., and Loganathan, G.V. 2001. A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*, 76(2), 60-68.
- Glover, F., 1977, Heuristics for integer programming using surrogate constraints, *Decision sciences*, 8 (1), 156-166.
- Goldberg, D. E., 1989, Genetic algorithms and Walsh functions: Part I, a gentle introduction, *Complex systems*, 3 (2), 129-152.
- Gök. S., 2007. Kazıklı radye temellerin tasarımı. Doktora Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Griffiths, D.V., Clancy, P. and Randolph, M.F., 1991. Piled raft foundations analysis by finite elements, 7th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics, Vol. 2, Australia, pp. 1153-1157.

- Gürgüç, S., 2013. İki doğrultuda yatay yüklü kazık grupları ile ilgili bir inceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Hamderi, M., 2017. Kazıklı Radye temellerin oturmaya karşı optimizasyonu için yeni bir yöntem, 3rd International Soil-Structure Interaction Symposium, İzmir.
- Hermann, R., Gendy, M., Hattab, F., 2022. Analysis of pile groups of Stonebridge Tower in London by the Program ELPLA. Case study 1., Geotech Software Inc., Canada.
- Hermann, R., Gendy, M., Hattab, F., 2022. Analysis of pile groups of Dashwood House in London by the Program ELPLA. Case study 2., Geotech Software Inc., Canada.
- Horikoshi, K., 1995. Optimum Design of piled raft foundations, PhD Thesis, University of Western Australia, Perth.
- Horikoshi K., Randolph M.F., 2000. Optimum design of piled raft foundations, Taisei Corporation, Tokyo, Japan.
- Horikoshi, K. and Randolph, M.F., 2000. Centrifuge modeling of piled raft foundations on clay, *Geotechnique*, Vol. 46(4), pp. 741-752.
- Horvath, J.S., 1993. Subgrade modeling Jr soil-structure interaction analysis of horizontal foundation elements, Manhattan College Research Report No. Celge-93-I, Manhattan College, New York.
- Horvath, J.S., 2002. Soil-structure interaction research project- Basic SSI Concepts And Applications Overview, Manhattan College Research Report No. Cgt-2002-2, Manhattan College, New York.
- Hwang, J.H., Lyu, Y.D., Chung M.C., (2011). Optimizing pile group design using a real Genetic approach, The Twenty-first International Offshore and Polar Engineering Conference.
- Ismael N., F., 2001. Axial load tests on pile and pile group in cemented sands, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127, 9, 767-783.
- Kadıoğlu, F., 2002. Kazıklı radye temellerde optimum tasarım kriterlerinin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.
- Karaboga, D., 2005, An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, *Technical report-tr06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer*.
- Karaboga, D. ve Akay, B., 2011. A modified artificial bee colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems, *Applied soft computing*, 11 (3), 3021-3031.
- Karaboğa, D., 2014, Yapay zekâ optimizasyon algoritmaları, *Nobel Akademik Yayıncılık*, 245.

- Katzenbach, R., Arslan, U., Moorman, C. and Reul, O., 1998. Piled raft foundation-interaction between piles and raft, Darmstadt Geotechnics, International conference on soil-structure interaction in urban civil engineering, pp. 279-296.
- Katzenbach, R. and Moorman, C., 2001. Recommendations for design and construction of piled rafts, 15th ICSMFE, Istanbul, Turkey, s. 927-930.
- Kempton, G.T., Russell, D., Pierpoint, N.D. and Jones, C.J.P.F., 1998. Two and three dimensional numerical analysis of the performance of geosynthetics carrying embankment loads over piles. Proceedings of the 6th International Conference on Geosynthetics, Atlanta, Georgia: pp. 767-772.
- Kennedy, J. ve Eberhart, R., 1995, Particle swarm optimization, *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks*, 1942-1948.
- Khoury. M., Alzamora. A., and Ciancia. A., 2011. A piled-raft foundation for the tallest building in Brooklyn. *Geo-Frontiers*. 3818-3827.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. ve Vecchi, M. P., 1983, Optimization by simulated annealing, *science*, 220 (4598), 671-680.
- Kougias, I. ve Theodosiou, N., 2010, A new music-inspired harmony based optimization algorithm. Theory and applications, *International Conference on Protection and Restoration of the Environment X*.
- Kubat C, 2013. MATLAB: yapay zekâ ve mühendislik uygulamaları, Pusula Yayıncılık.
- Lee, K. S. ve Geem, Z. W., 2004. A new structural optimization method based on the harmony search algorithm, *Computers & Structures*, 82 (9-10), 781-798.
- Leung. Y.D., Klar. A., Soga. K., 2010. Theoretical study on pile length optimization of pile groups and piled rafts. *J. Geotech. Geoenviron. Engineering*. 136 (2). 319-330.
- Liang. F., Li. J., Chen. L., 2006. Optimization of composite piled raft foundation with varied rigidity of cushion. *GeoShanghai International Conference 2006*. Shanghai. China. June 6-8.
- Liang. F., Chen. L., Han. J., 2009. Integral equation method for analysis of piled rafts with dissimilar piles under vertical loading. *Computers and Geotechnics*. 36. 419-426.
- Liao, S.S.C., 1991. Estimating the coefficient of subgrade reaction for tunnel design, Internal research report, Parsons Brinkerhoff, Inc.
- Lin. D., Feng. Z., 2006. A numerical study of piled raft foundations. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 29(6). 1091-1097.
- Liu, X., Cheng, G., Wang, B., Lin, S., (2012). Optimum design of pile foundation by automatic grouping genetic algorithms, *ISRN Civil Engineering*.

- Mahdavi, M., Fesanghary, M. ve Damangir, E., 2007. An improved harmony search algorithm for solving optimization problems, *Applied mathematics and computation*, 188 (2), 1567-1579.
- Mandolini, A., Laora, R., Mascarucci, Y., 2013. Rational design of piled raft, 11th International Conference on modern building materials, structures and techniques, 45-52.
- MATLAB, a programming language MathWorks, <http://www.mathworks.com/products/matlab.html>:
- Mayne, P. W., & Poulos, H. G. 1999. Approximate displacement influence factors for elastic shallow foundations. *125(6)*, 453-460.
- Meyerhof, G. G., 1976. Bearing capacity and settlement of pile foundations. Proceedings of The American Society of Civil Engineers, Vol. 3, pp. 197–228.
- Mindlin, R. D., 1936. Force at a point in the interior of a semi-infinite solid, *Physics*, Vol. 7, pp. 195-202.
- Mohamedien, M., Gendy, M., Arabi, I., Azab, M., Moubarak, A., 2013. Reducing settlement using pile raft for neighboring foundations in Port-Said. *Port Said Engineering Research Journal*, Port Said University, Volume 17, No 2, September 2013, pp:136-146.
- Momeni, E., 2014. Prediction of pile bearing capacity using a hybrid genetic algorithm-based ANN, *Measurement* 57, Page:122-131.
- Omeman. Z.M., 2012. Load sharing of piled-raft foundations in sand subjected to vertical loads. Doktora Tezi. Concordia University. The Department of Building. Civil and Environmental Engineering.
- Patil, J. D., Vasanwala, S. A. ve Solanki, C. H., 2014. An Experimental investigation on behavior of piled raft foundation, *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 5, 2, 300-311.
- Prakoso. W.A., Kulhawy. F.H., 2001. Contribution to piled raft foundation design. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 127. 17-24.
- Poulos. H.G. Davis, E., 1980. Pile foundation analysis and design, The University of Sydney.
- Poulos, H.G., 1991. Analysis of piled strip foundations, 7th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics, Australia, 1, 183-191.
- Poulos. H.G., 1993. Piled rafts in swelling or consolidating soils. *J. Geotech. Eng.*, 119 (2). 374–380.
- Poulos, H.G., 1994. Alternative design strategies for piled raft foundations, 3rd International Conference on Deep Foundation Practice Incorporating PILETALK'94, Singapore, 239-244.

- Poulos. H.G., 2001. Methods of analysis of piled raft foundations. A Report Prepared on Behalf of Technical Committee TC18 on Piled Foundations. International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Poulos, H. G., Carter, J. P., and Small, J. C., 2001. Foundations and retaining structures-research and practice, State of the Art Lecture, 14th International Congress on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, İstanbul.
- Poulos, H. G. 2001. Piled raft foundations: Design and applications. *Geotechnique* 51 (2): 95-113.
- Poulos. H.G., 2002. Simplified design procedure for piled raft foundations. *International Deep Foundations Congress 2002*. Orlando. Florida. United States. February 14-16.
- Rabiei. M., 2009. Parametric study for piled raft foundations. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 14. Bund. A.
- Rajabioun, R., 2011, Cuckoo optimization algorithm, *Applied soft computing*, 11 (8), 5508-5518.
- Randolph, M.F., Wroth. C.P., 1978. An analysis of the vertical deformation of vertically loaded piles, *Journal of the Geotechnical Engineering Divison, ASCE*, 104 (GT12), 1465-1488.
- Randolph, M. F., 1994. Design methods for pile groups and piled rafts, 13th ICSMFE, New Delhi, India, 61-82.
- Randolph, MF., 2003. Science and empiricism in pile foundation design, *Geotechnique*, 53 (10), s.847-875.
- Reul. O., Randolph. M.F., 2004. Design strategies for piled raft subjected to nonuniform vertical loading. *Journal of Geotech. Geoenviron. Engineering*. 130 (1). 1-13.
- Russo, G., 1998. Numerical analysis of piled rafts, *International Journal Analysis and Numerical Methods in Geomechanics*, 22 (6), 477-493.
- Sanctis. L., Mandolini. A., 2006. Bearing capacity of piled rafts on soft clay soils. *Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*. 132 (12). 1600-1610.
- Sawwaf, M., 2010. Experimental study of eccentrically loaded raft with connected and unconnected short Piles, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136, 10.
- Sharafkhan, M. ve Shooshpasha, I., 2018. A laboratory study of the effect of piles asymmetric arrangement on the behavior of piled raft foundation in sand, *International Journal of Geotechnical Engineering*, February 1-12.
- Shioi, Y. ve Fukui, J., 1982. Application of N-value to design of foundations in Japan, *Proceedings, Second European Symposium on Penetration Testing*, 1. Baskı, 159-164.

- Sinha, J., 1996. Forthcoming PhD thesis, University of Sydney, Australia.
- Smoltyzck, U., 2006. Grundbau-Taschenbuch, Ernst Verlag.
- Sönmez, D. D., 1994. Orta sıklıktaki kumdaki kazık gruplarının negatif sürtünmesi ile ilgili bir model çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 89.
- Stavroulakis, G., Bekas, G., 2016. Cost optimization of a raft foundation including pile group design optimization and soil improvement considerations, 11th HSTAM International Congress on Mechanics, Athens, Greece, 27-30 May.
- Ta. L.D., Small. J.C., 1997. An approximation for analysis of raft and piled raft foundations. *Computers and Geotechnics*. 20 (2). 105-123.
- Tan. Y.C., Chow. C.M., 2004. Design of piled raft foundation on soft ground. Director. Gue&Partners sdn bhd. Kuala Lumpur. Malaysia.
- Tan RK, Bora Ş., 2017. Modelleme ve benzetim ortamında parametre optimizasyonu ve kullanılan teknikler. 5, 3, 685-97.
- Temür, R., Öser, C., 2019. Düşey yük etkisi altındaki kazık gruplarının bozkurt optimizasyon algoritması ile optimizasyonu, *Politeknik Dergisi*, 22(1):19-32.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1943. Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, New York.
- Terzaghi, K. ve Peck, R.B., 1968. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edition, Wiley, New York.
- Thaier, M., 1991. Tragverhalten von Pfahl-Platten-Gründungen im bindigen Baugrund, Berechnungsmodelle und Zentrifugen-Modellversuche. Ruhr-Universität Bochum Schriftenreihe des Instituts für Grundbau, Wasserwesen und Verkehrswesen, Serie Grundbau, Heft 15.
- Toğrol, E. ve Tan, O., 2009. Kazıklı temeller, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Tomlinson, M., Woodward, J., 2008. Pile design and construction practise (5th ed.) New York, Taylor and Francis.
- Tuçbilek, N., 2018. Kapasite kısıtlı çok tesisli weber problemi için değiştirilmiş yapay arı kolonisi algoritması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Tunay, M., A., 2019. Yüzeysel temellerin meta-sezgisel yöntemlerle optimum tasarımı, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye.
- Uray, E., 2020. Dayanma yapılarının sezgisel yöntemler kullanılarak optimum tasarımı, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, Türkiye.

- Uysal, H., 2014. Kazıklı radye temellerin yanal yük altında davranışının belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ünal, C., 2019. Tekil kazıkların sonlu elemanlar ile analizi ve analitik yöntemlerle karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
- Ünal, B., Şimşek, O., 2020. Kırıkkale ili Çelebi ilçesi Karabucak köyünde yapılarda oluşan deformasyonların zemin malzeme parametreleriyle incelenmesi, *Politeknik Dergisi*.
- Van Impe, W.F., 1991. Deformation of deep foundations, 10th ECSMFE, Florence, Italy, Vol. 3, pp. 1031-1062.
- Vesic, A. S., 1977. Design of pile foundations, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC.
- Viggiani, C. (2001). Analysis and design of piled raft foundations, *First Arrigo Croce Lecture, Rivista Italiana Di Geotechnica*, 47-75.
- Watcharasawe, K., Kitiyodom, P. ve Jongpradist, P., 2015. Numerical analyses of piled raft foundation in soft soil using 3D-FEM, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 46, 1, ISSN 0046-5828.
- Widjojo, A., 2001, Contribution to piled raft foundation design, Indian Inst of Tech. India.
- Winkler, E., 1867. Die lehre von elastizitat und festigkeit, H. Dominicus, Prag.
- Yalçın, A., 2010. Kazıklı radyejeneral temellerin düşey ve yatay yükler altında davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yalçın. A., İncecik. M., 2010. Kazıklı yayılı (radyejeneral) temeller ile yayılı (radyejeneral) temellerin düşey ve yatay yükler altında davranışlarının karşılaştırılması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13.Ulusal Kongresi*. Cilt 2. 635. İstanbul Kültür Üniversitesi. İstanbul.
- Yang, X.-S., 2008, Nature-inspired metaheuristic algorithms, Luniver Press.
- Yang, X.-S., 2009, Firefly algorithms for multimodal optimization, *International symposium on stochastic algorithms*, 169-178.
- Yazdani, H., 2013. Ant Colony Optimization method for design of piled-raft foundations, *DFI Journal* Vol.7, No.2, December.
- Yazıcı, A. G., 2013. Kazıklar arası mesafenin kazıklı radye temel Sisteminde etkisinin iki ve üç boyutlu analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 75.
- Yılmaz. B., 2010. An analytical and experimental study on piled raft foundations. Yüksek Lisans Tezi. *Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences*. Ankara.

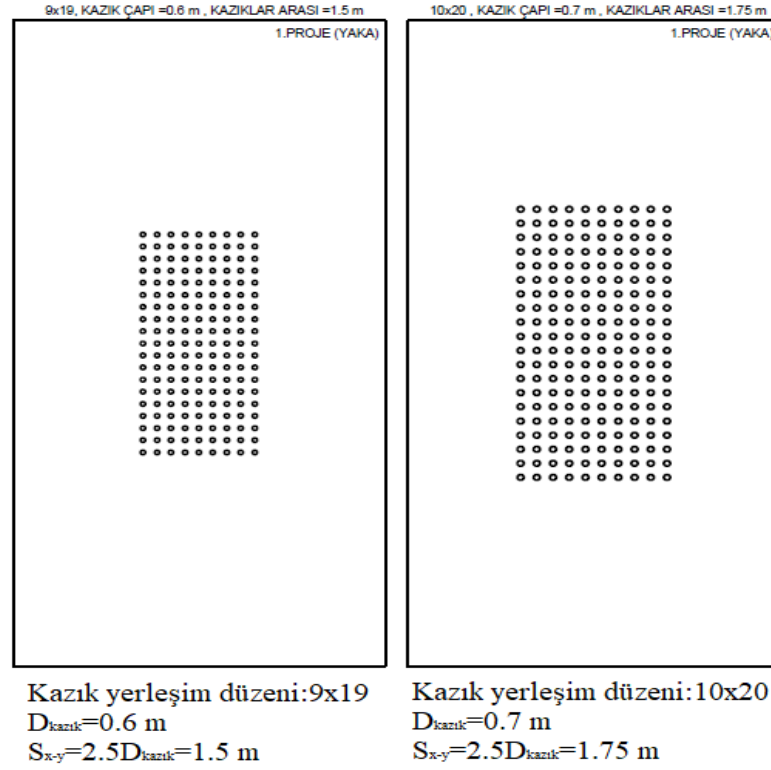


- Zhuong, G.M., Lee, I.K., 1994. An elastic analysis of load distribution for raft-pile system, *Finite Elements in Analysis and Design*, 18, (1-3), pp. 259-272.
- Ziaie-Moayed. R., Kamalzare. M., Safavian. M., 2010. Evaluation of piled raft foundations behavior with different dimensions of piles. *Journal of Applied Sciences*. 10 (13). 1320-1325.

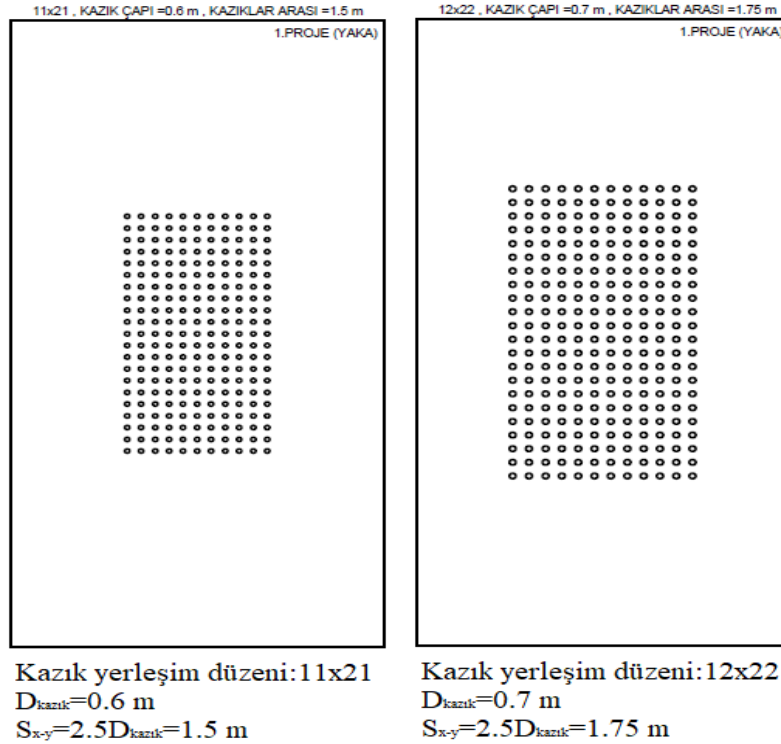


## EKLER

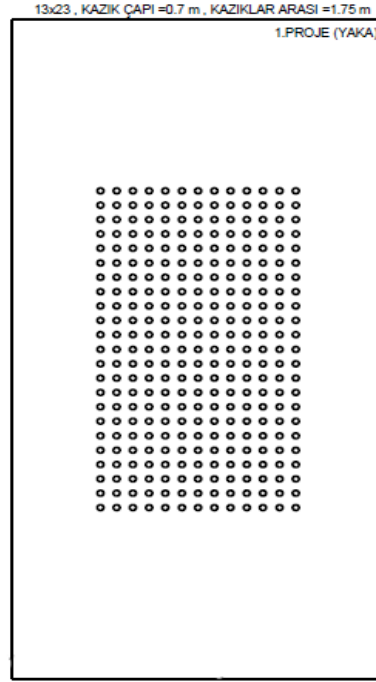
## EK-1 Birinci projenin YAKA analizleri ile elde edilen optimum boyutlu tasarımı



Şekil 1.1. Birinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

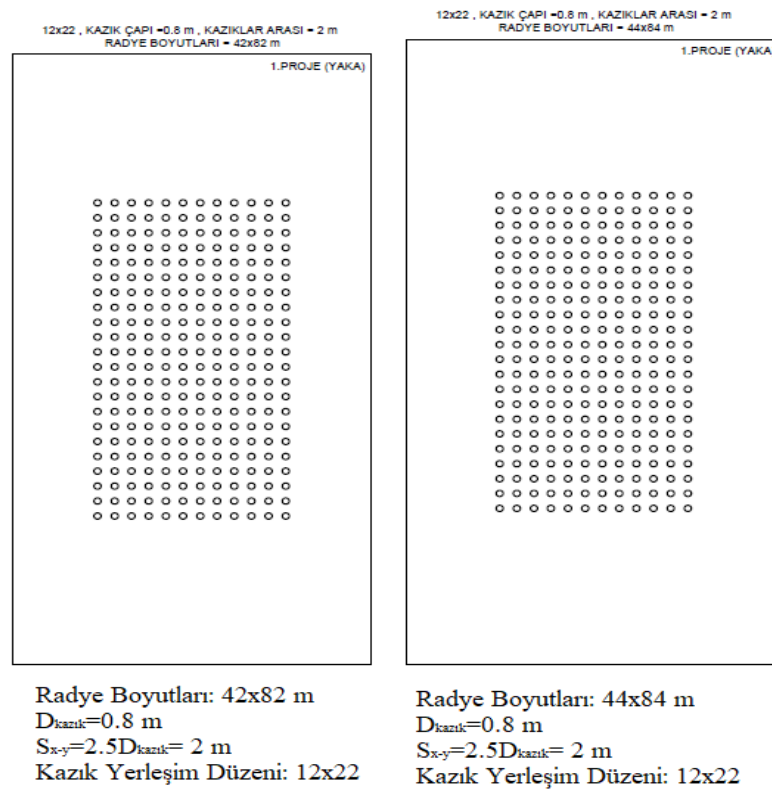


Şekil 1.2. Birinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

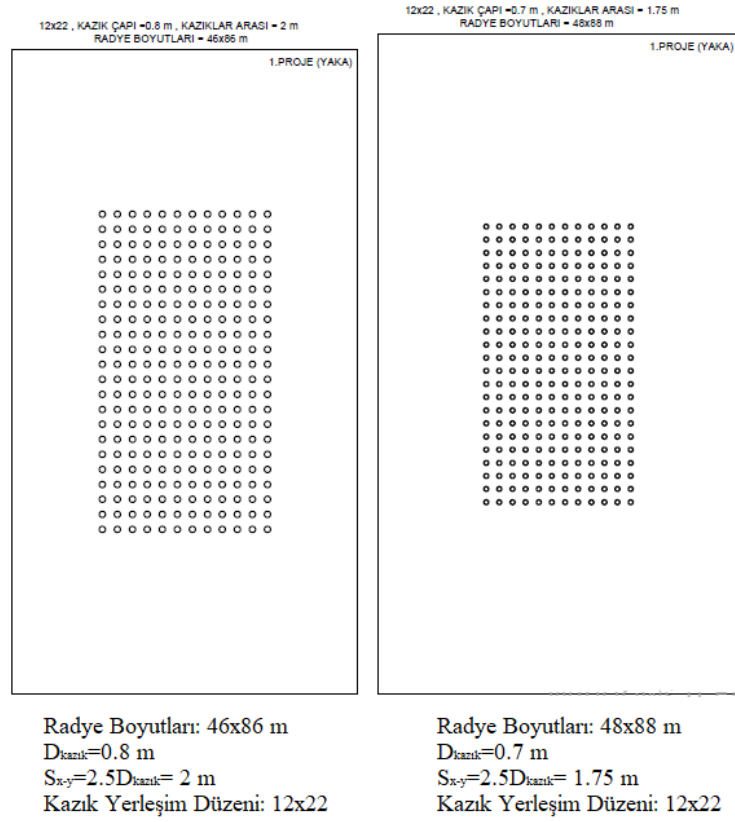


Kazık yerleşim düzeni: 13x23  
 $D_{kazık}=0.7$  m  
 $S_{x-y}=2.5D_{kazık}=1.75$  m

Şekil 1.3. Birinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

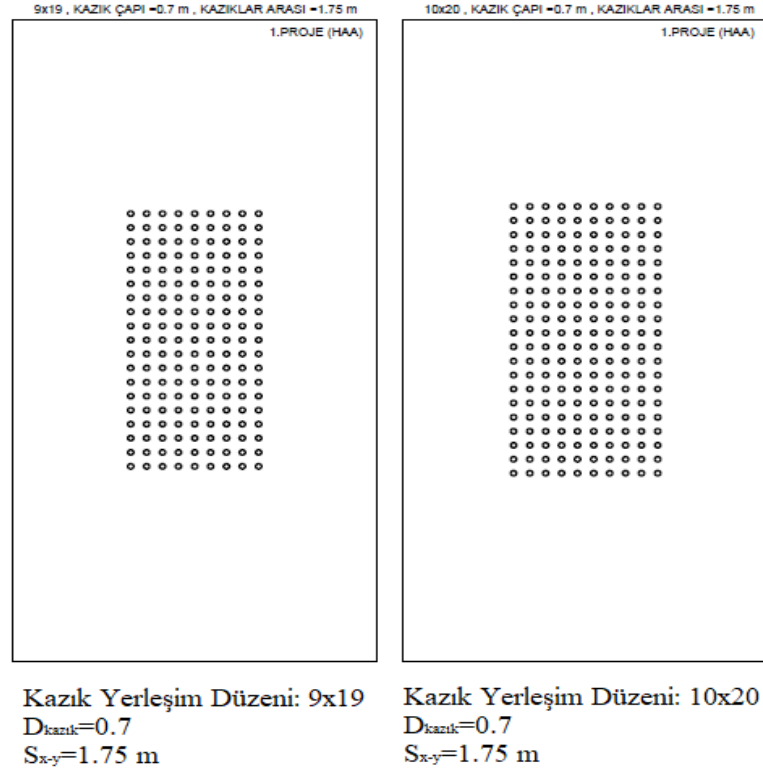


Şekil 1.4. Birinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

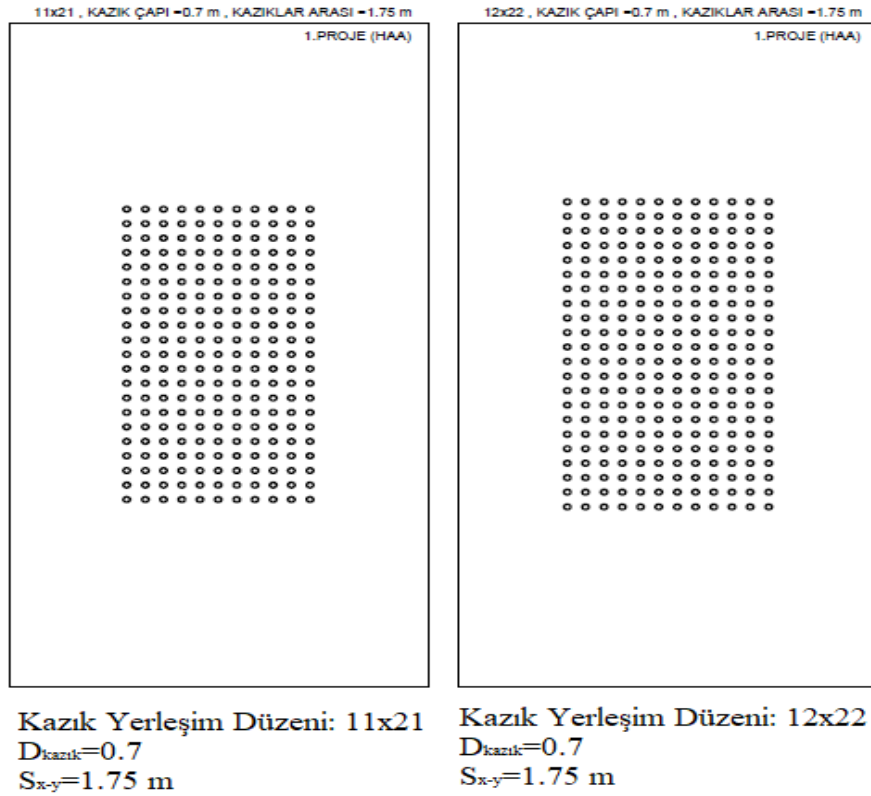


Şekil 1.5. Birinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

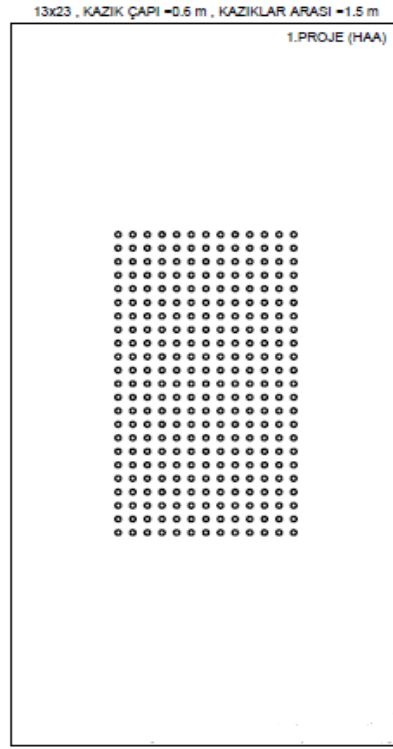
## EK-2 Birinci projenin HAA analizleri ile elde edilen optimum boyutlu tasarımı



Şekil 2.1. Birinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

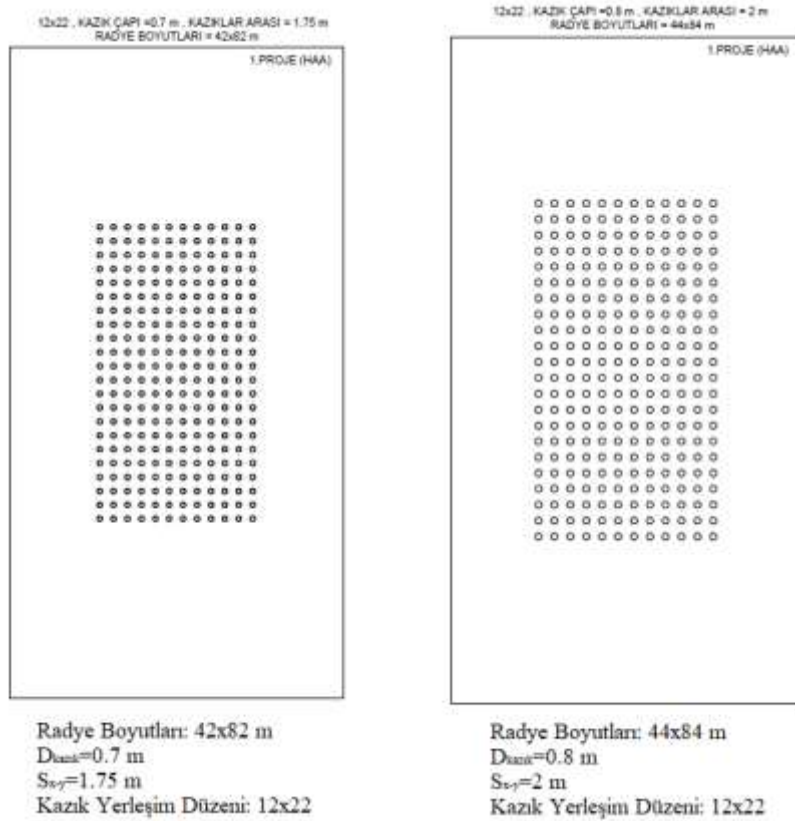


Şekil 2.2. Birinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

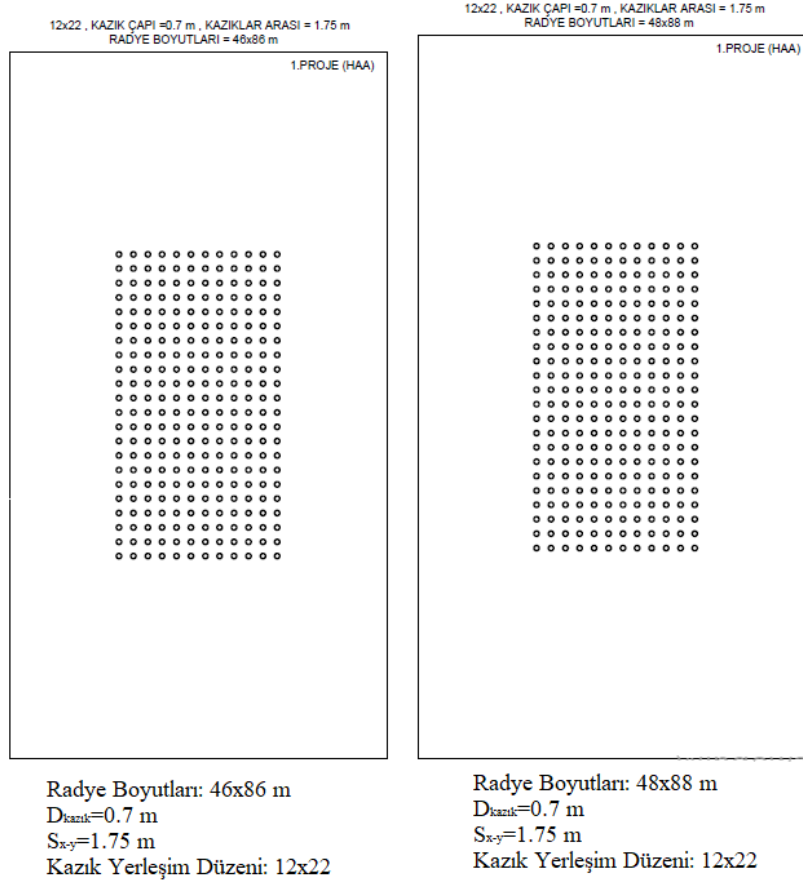


Kazık Yerleşim Düzeni: 13x23  
 $D_{kazık}=0.6$   
 $S_{x-y}=1.5$  m

Şekil 2.3. Birinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni



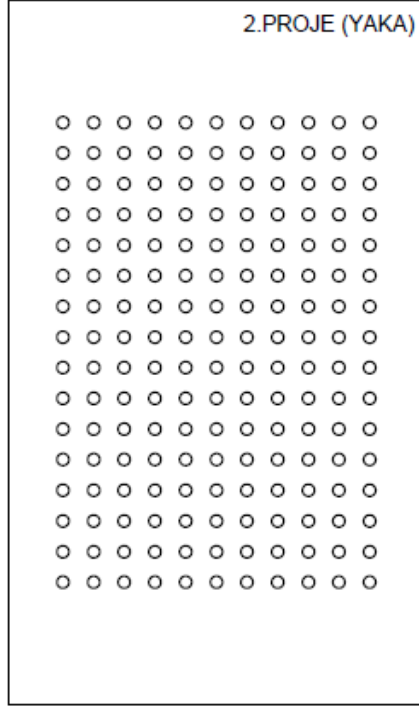
Şekil 2.4. Birinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni



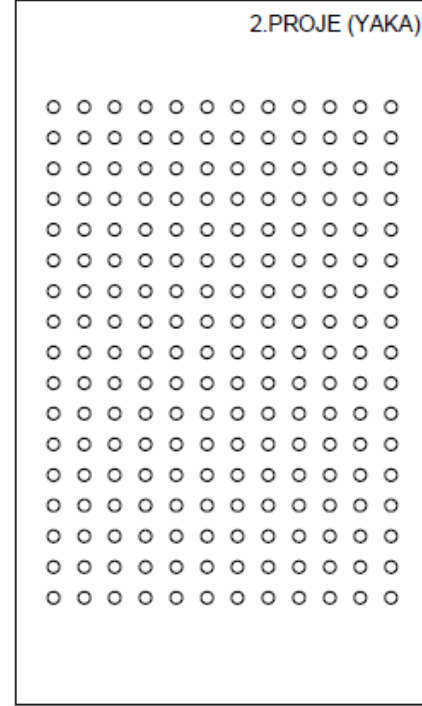
Şekil 2.5. Birinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

**EK-3** İkinci projenin YAKA analizleri ile elde edilen optimum boyutlu tasarımı

11x16 , KAZIK ÇAPI =0.8 m , KAZIKLAR ARASI = 2 m  
RADYE BOYUTLARI = 27x46 m

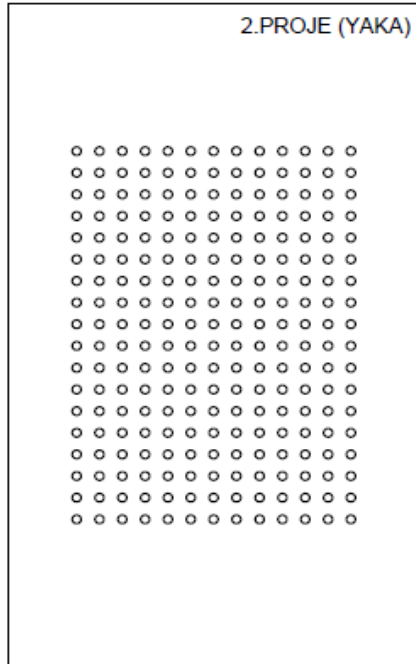


12x17 , KAZIK ÇAPI =0.8 m , KAZIKLAR ARASI = 2 m  
RADYE BOYUTLARI = 27x46 m

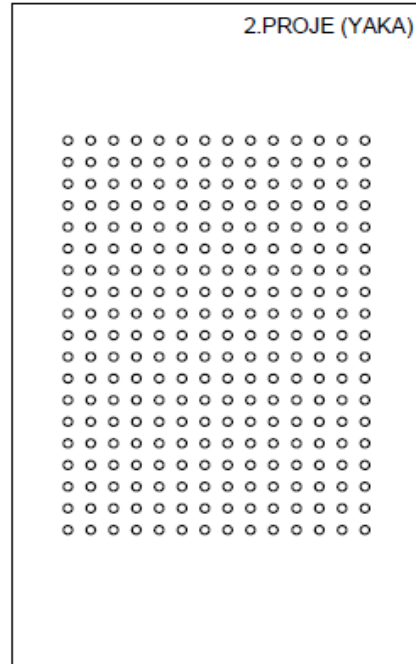


**Şekil 3.1.** İkinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

13x18 , KAZIK ÇAPI =0.6 m , KAZIKLAR ARASI = 1.5 m  
RADYE BOYUTLARI = 27x46 m

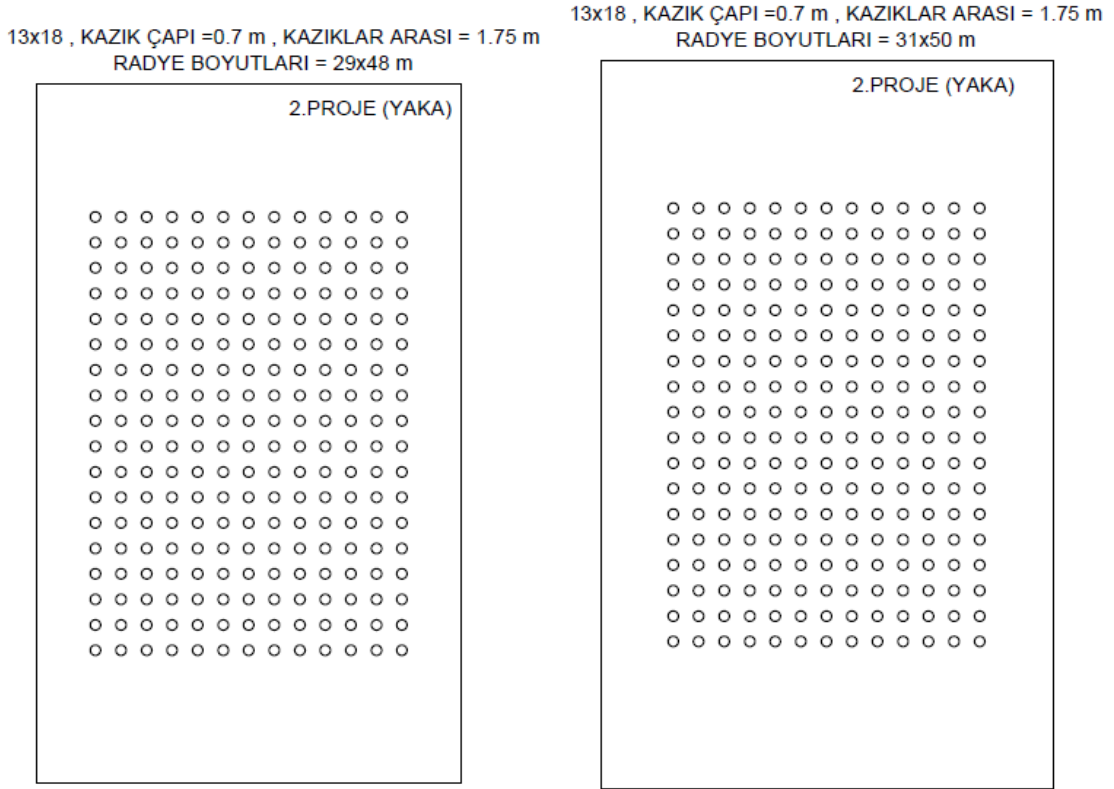


14x19 , KAZIK ÇAPI =0.6 m , KAZIKLAR ARASI = 1.5 m  
RADYE BOYUTLARI = 27x46 m



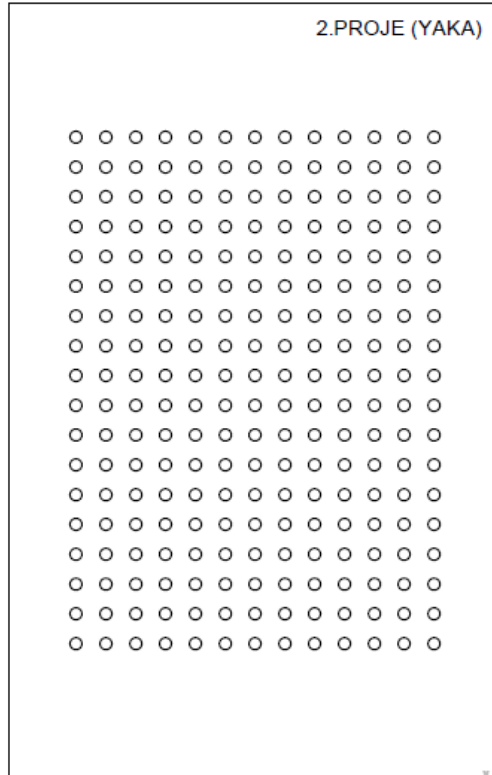
**Şekil 3.2.** İkinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni





**Şekil 3.3.** İkinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

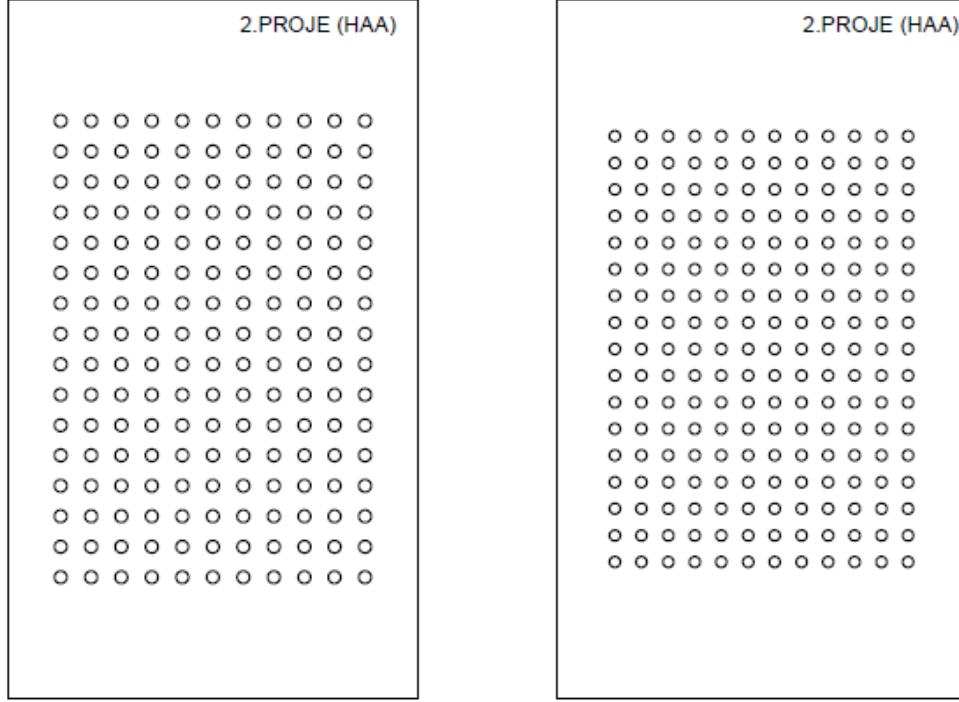
13x18 , KAZIK ÇAPI =0.8 m , KAZIKLAR ARASI = 2 m  
RADYE BOYUTLARI = 33x52 m



**Şekil 3.4.** İkinci projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

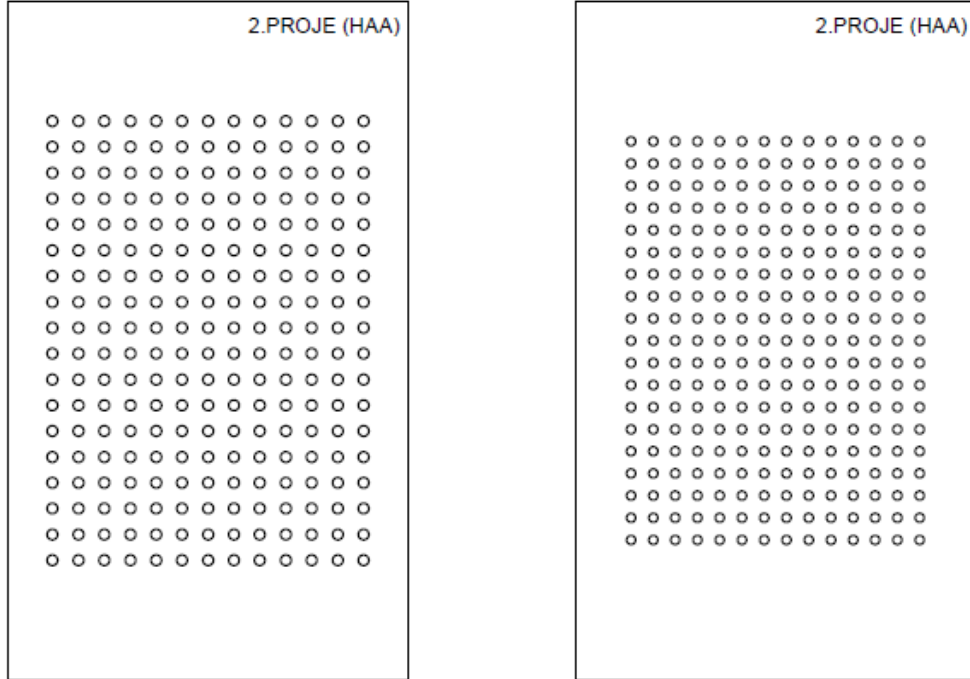
#### EK-4 İkinci projenin HAA analizleri ile elde edilen optimum boyutlu tasarımı

11x16 , KAZIK ÇAPI =0.8 m , KAZIKLAR ARASI = 2 m RADYE BOYUTLARI = 27x46 m      12x17 , KAZIK ÇAPI =0.7 m , KAZIKLAR ARASI = 1.75 m RADYE BOYUTLARI = 27x46 m

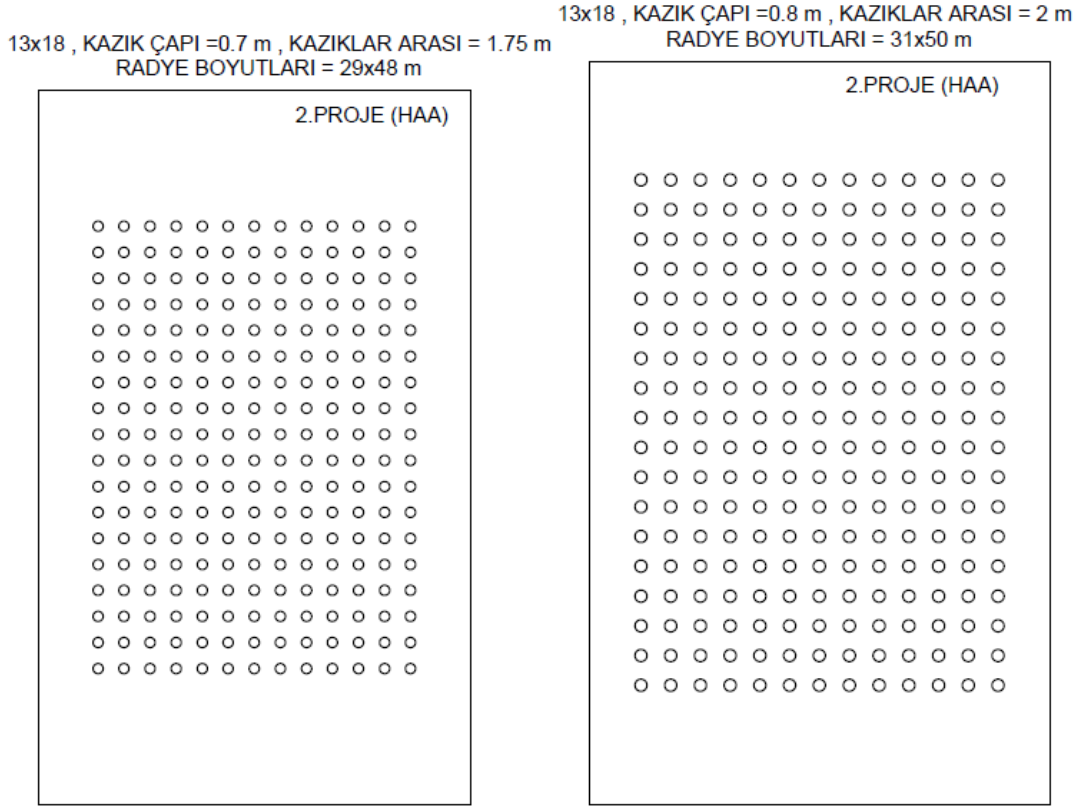


Şekil 4.1. İkinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

13x18 , KAZIK ÇAPI =0.7 m , KAZIKLAR ARASI = 1.75 m RADYE BOYUTLARI = 27x46 m      14x19 , KAZIK ÇAPI =0.6 m , KAZIKLAR ARASI = 1.5 m RADYE BOYUTLARI = 27x46 m

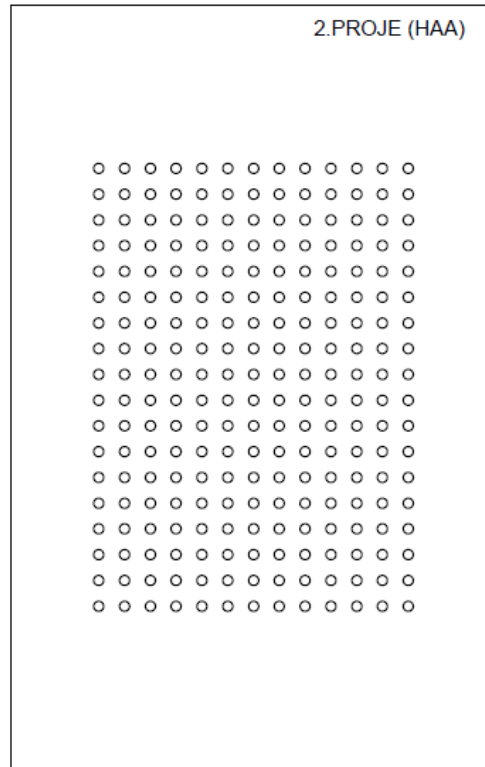


Şekil 4.2. İkinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni



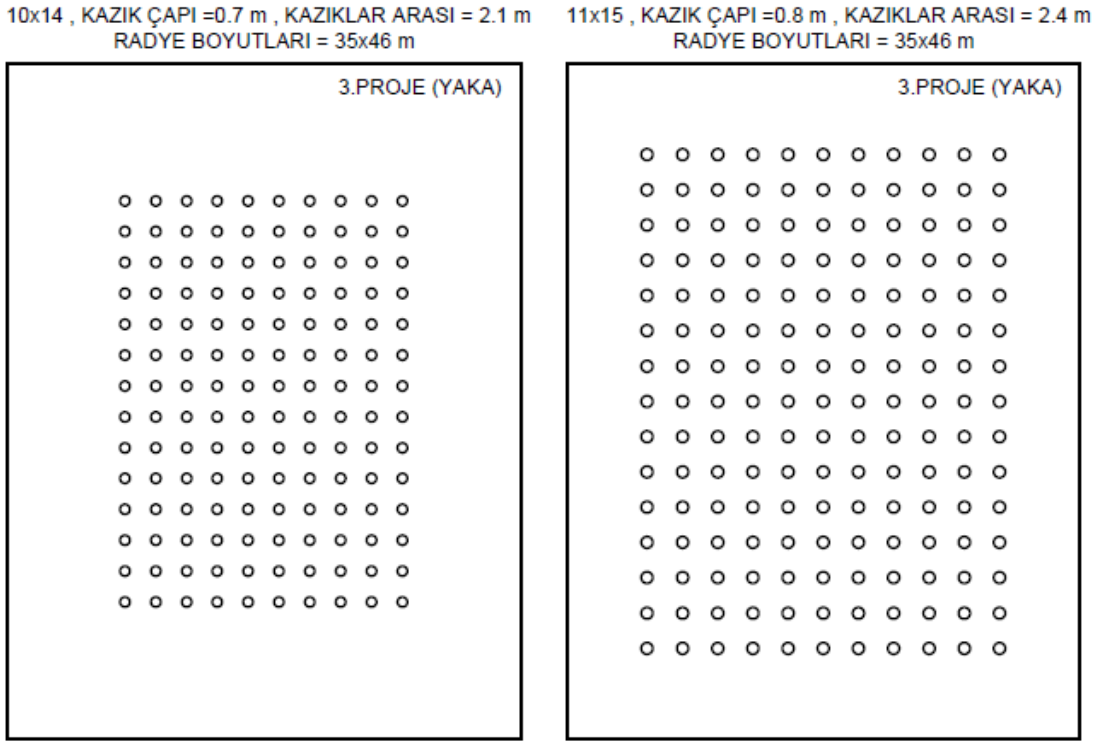
Şekil 4.3. İkinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

13x18 , KAZIK ÇAPI =0.7 m , KAZIKLAR ARASI = 1.75 m  
RADYE BOYUTLARI = 33x52 m

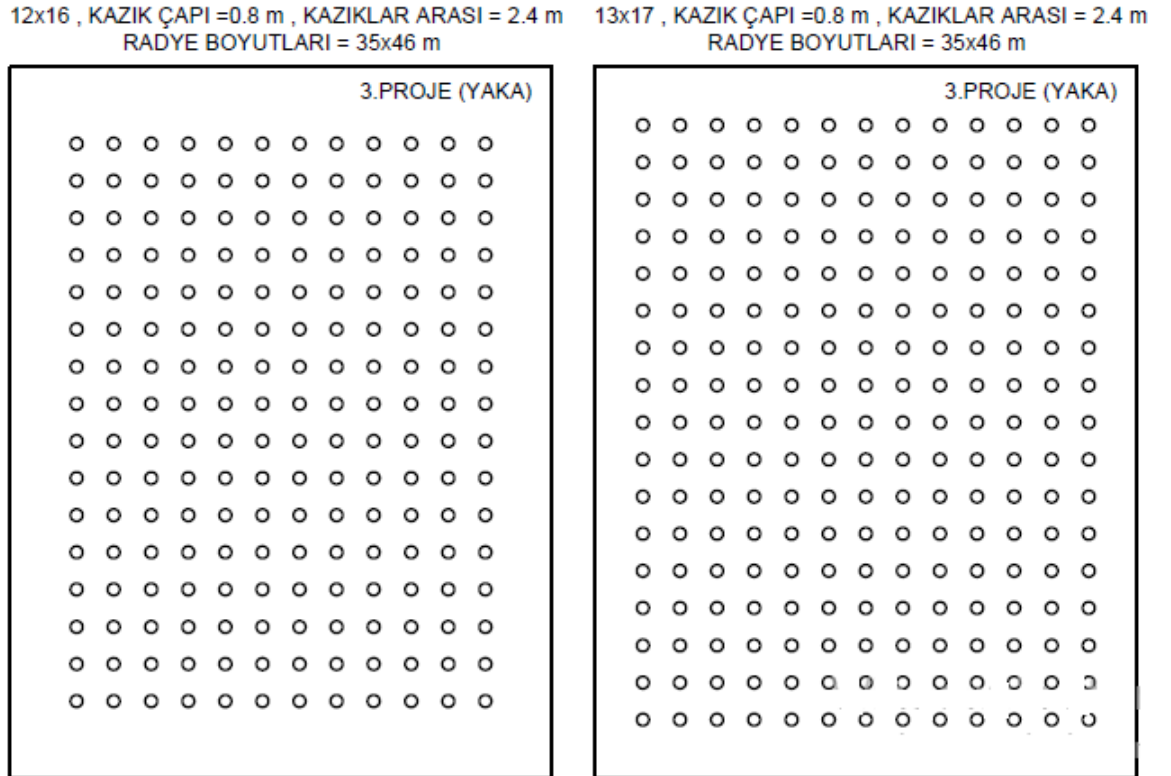


Şekil 4.4. İkinci projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

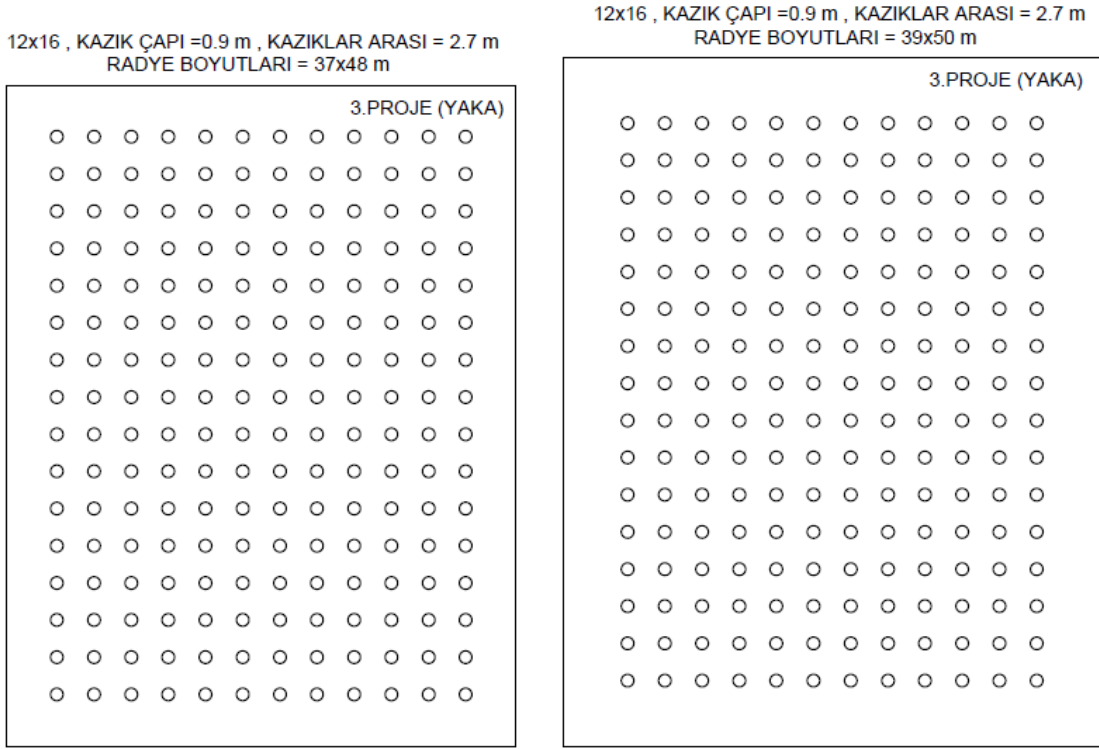
**EK-5** Üçüncü projenin YAKA analizleri ile elde edilen optimum boyutlu tasarımı



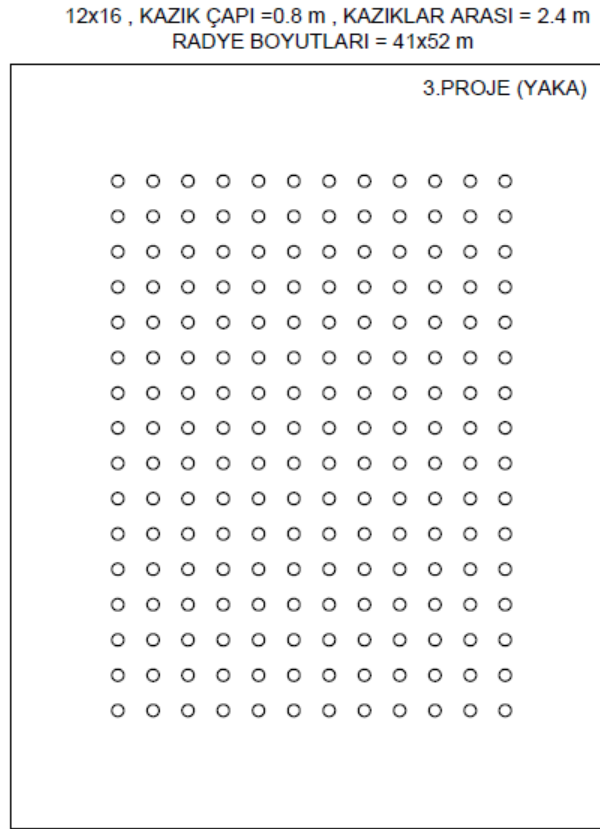
**Şekil 5.1.** Üçüncü projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni



**Şekil 5.2.** Üçüncü projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

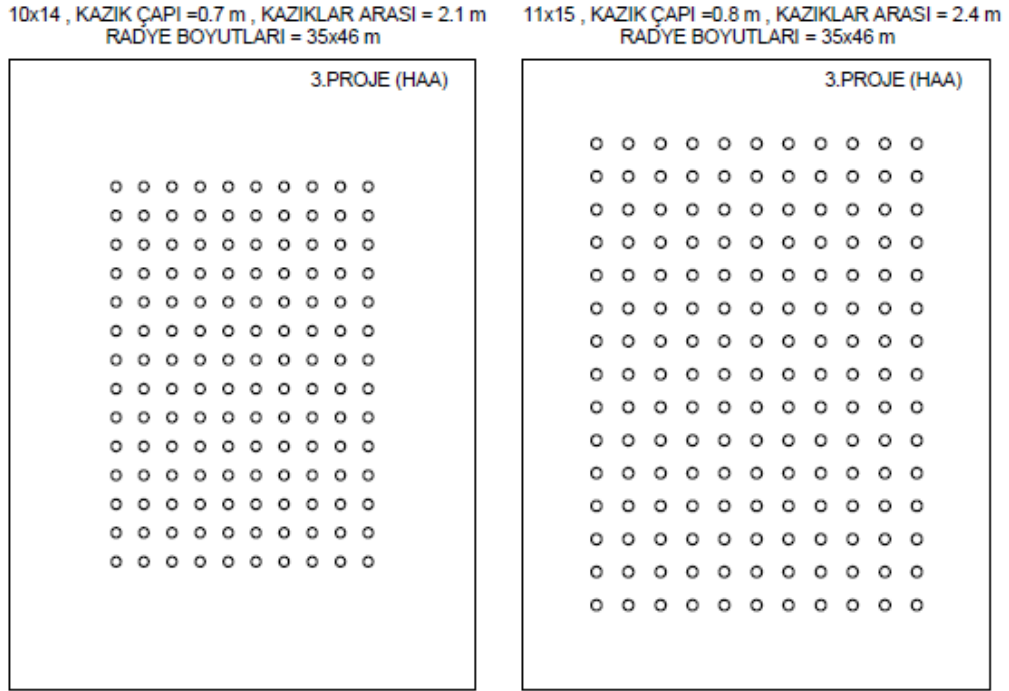


**Şekil 5.3.** Üçüncü projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

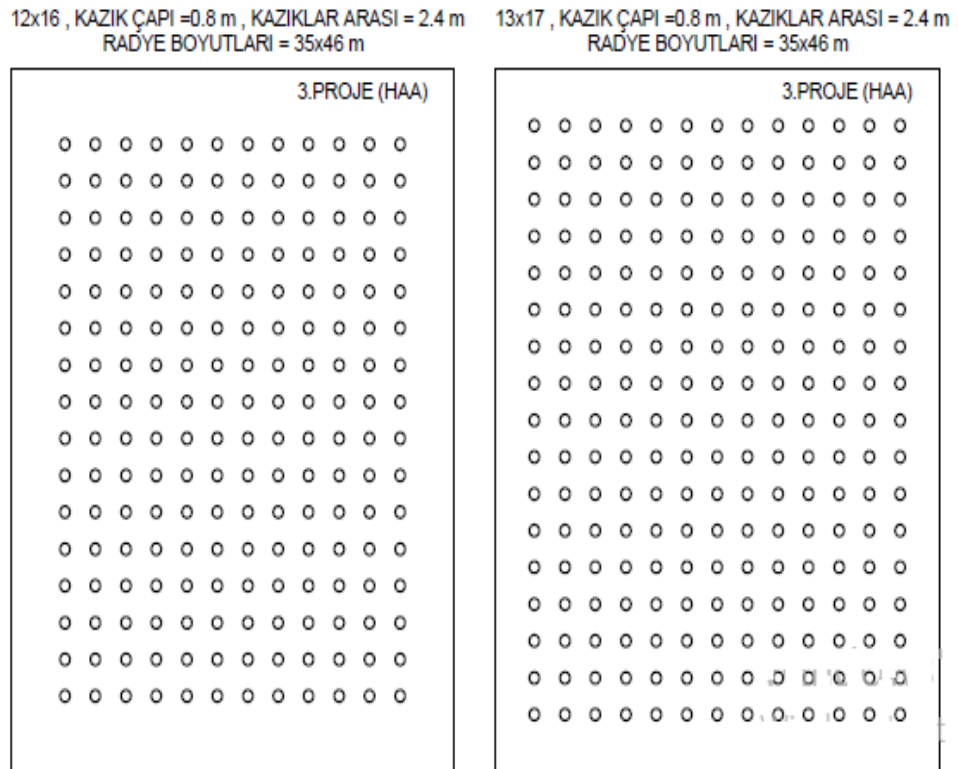


**Şekil 5.4.** Üçüncü projenin YAKA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

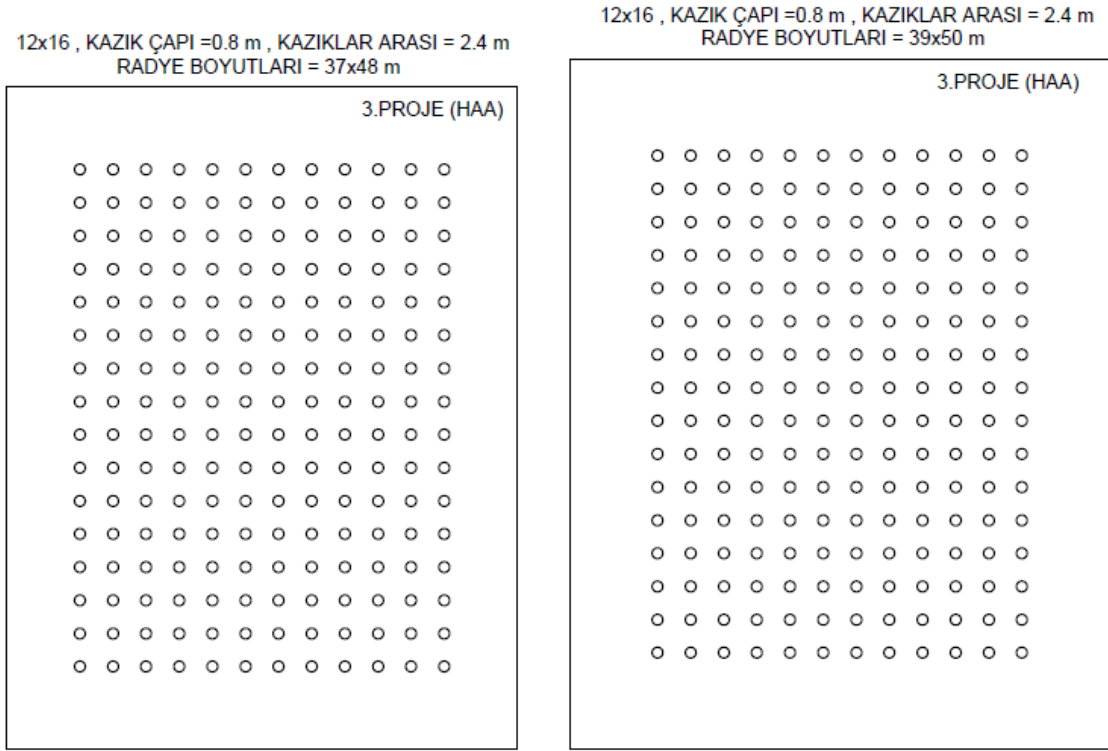
### EK-6 Üçüncü projenin HAA analizleri ile elde edilen optimum boyutlu tasarımı



Şekil 6.1. Üçüncü projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

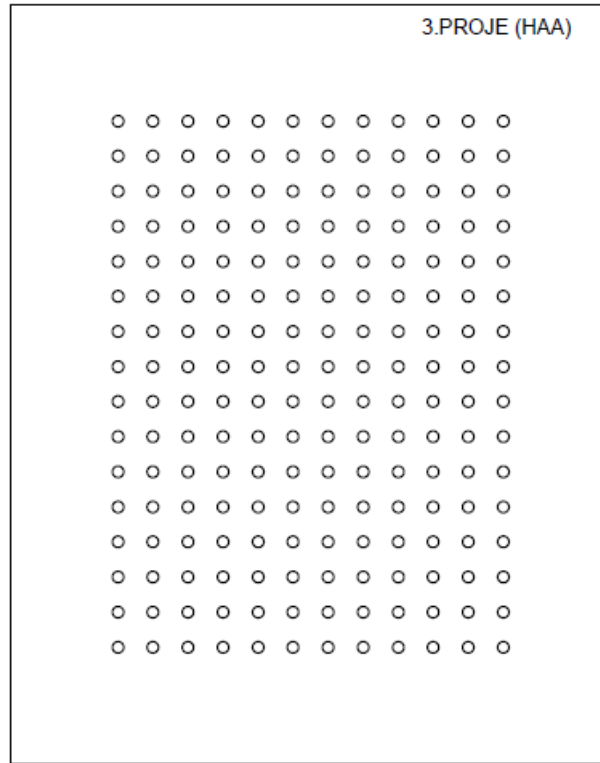


Şekil 6.2. Üçüncü projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni



**Şekil 6.3.** Üçüncü projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni

12x16 , KAZIK ÇAPI =0.8 m , KAZIKLAR ARASI = 2.4 m  
RADYE BOYUTLARI = 41x52 m



**Şekil 6.4.** Üçüncü projenin HAA analiz sonucu optimum tasarımının kazık yerleşim düzeni