

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**BÜYÜK DIŞMERKEZLİ ELASTİK SÜREKLİ TEMELLERDEKİ  
TABAN GERİLME DAĞILIMININ META-SEZGİSEL  
TEKNİKLER İLE BELİRLENMESİ**

**Seda TURAN**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2019**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÜYÜK DIŞMERKEZLİ ELASTİK SÜREKLİ TEMELLERDEKİ  
TABAN GERİLME DAĞILIMININ META-SEZGİSEL  
TEKNİKLERLE BELİRLENMESİ**

**Seda TURAN**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

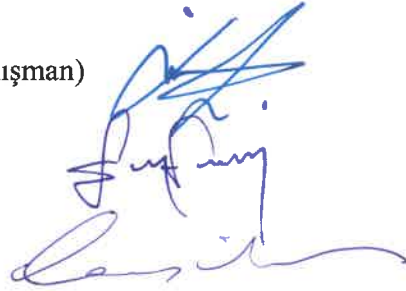
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 24/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

Doç. Dr. Erkan DOĞAN



**ÖZET**  
**BÜYÜK DIŞMERKEZLİ ELASTİK SÜREKLİ TEMELLERDEKİ**  
**TABAN GERİLME DAĞILIMININ META-SEZGİSEL**  
**TEKNİKLER İLE BELİRLENMESİ**

**Seda TURAN**

**Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU**

**Haziran 2019; 50 Sayfa**

Yapılar deprem, rüzgâr gibi yatay kuvvetlere maruz kaldığında, temellerinde yüksek momentler meydana gelmektedir. Bu durumda temelin bazı bölgelerinde zeminle temas olmadığı için gerilme oluşmamaktadır. Standart statik çözüm ile hesaplama yapıldığında bu bölgelerde negatif gerilme elde edilir. Bu çözüme göre yapılacak gerilme dağılımı hatalı olacağı için gerilme dağılımı yeniden düzenlenmelidir. Rijit temellerde gerilme dağılımı doğrusal olması sebebiyle gerilme dağılımının yeniden yapılması kolaydır. Hatta şartnamelerde bununla ilgili formüller de türetilmiştir. Ancak elastik temellerde gerilme dağılımı doğrusal olmadığı için bu gerilme dağılımını tahmin etmek oldukça zorlaşmaktadır. Bu tez çalışmasında büyük dış merkezliliğe sahip elastik sürekli temellerdeki gerilme dağılımını belirleyebilen ve bunu formül ile ifade edebilen matematiksel modeller oluşturulması amaçlanmıştır. Bu model oluştururken, dış yükler ile iç kuvvetler arasındaki farkı azaltacak edecek şekilde bir optimizasyon problemi türetilmektedir. Türetilen optimizasyon problemi, daha önce etkinliği değişik problemler üzerinde ispat edilmiş meta-sezgisel tabanlı optimizasyon yöntemlerinden olan Yapay Arı Kolonisi, Ağaç Tohum, Biyo-Coğrafya algoritmaları ile çözümlenerek matematiksel formüllerin elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca farklı zemin koşulları ve yükleme durumlarına analiz edilerek matematiksel formüllerin değişiminin araştırılmıştır. Bu algoritma yöntemlerinin uygulanabilir olduğu gözlemlenmektedir. Bu yöntemlerden en iyi performansı ağaç tohum yöntemi sağlamaktadır. Ancak 0.45L eksantrisite değerinden itibaren performansın düştüğü gözlemlenmektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Sürekli temeller, Winkler yay yöntemi, Eksantrisite, Negatif gerilme, Meta-Sezgisel yöntemler

**JÜRİ:** Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Doç. Dr. Erkan DOĞAN

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF THE BASE STRESS DISTRIBUTION OF METHODS IN BIG ECCENTRICITY ELASTIC CONTINUOUS FOOTINGS WITH META-INTUITIVE TECHNIQUES

Seda TURAN

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

June 2019; 50 Pages

When structures are exposed to horizontal forces, such as earthquakes, wind, high moments occur on their foundations. In this case, there is no tension in some parts of the foundation since there is no contact with the ground. When the standard static solution is calculated, negative stress is obtained in these regions. As the stress distribution to be made according to this solution will be inaccurate, the stress distribution should be rearranged. The stress distribution is easy to reproduce due to the fact that the stress distribution is linear on the rigid foundations. Even formulas related to this are derived from the formulas. However, since the stress distribution on elastic foundations is not linear, it is very difficult to estimate the stress distribution. In this thesis, it is aimed to derive mathematical models that can determine the stress distribution in elastic continuous foundations with big eccentricity and to express it with a formula. When creating this model, an optimization problem will be derived to reduce the difference between external loads and internal forces. Derived optimization problem is aimed to solve mathematical formulas by solving Artificial Bee Colony, Tree Seed and Bio-Geography algorithms which is one of the meta-intuitive based optimization methods that have proven effectiveness on different problems. In addition, different soil conditions and loading conditions were analysed to investigate the change of mathematical formulas. It is observed that these algorithm methods are applicable. Tree seed method provides the best performance of these methods. However, it is observed that performance decreases starting from 0.45L from eccentricity value.

**KEYWORDS:** Continuous foundations, Winkler spring method, Eccentricity, Negative stress, Meta-Intuitive methods

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Assoc. Prof. Dr. Erkan DOĞAN

Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir. Büyük dış merkezli elastik sürekli temellerin meta-sezgisel optimizasyon tekniklerine göre belirlenmesi konusundaki bu çalışmada değerli fikirleri ve yardımlarıyla her zaman desteğini ve bana olan inancını hiçbir zaman kaybetmeyen ve anlayışı için minnettar olduğum tez danışmanım Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU'ya teşekkür ve saygılarımı sunmaktan mutluluk duyarım.

Bu tez çalışmasına katkıda bulunacak öneri ve çabaları için tez komitesinde bulunan değerli hocalarıma teşekkür ederim ve saygılar sunarım. Ayrıca her zaman bana desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen bütün arkadaşlarıma ve maddi manevi her konuda yanımda olarak, beni bu yolda teşvik eden değerli aileme yürekten teşekkür ederim.

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Büyük Dış merkezli Elastik Sürekli Temellerdeki Taban Gerilme Dağılımının Meta-Sezgisel Teknikler İle Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

24 /06/2019

Seda TURAN



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK TARAMASI .....	2
2.1. Literatürde Yer Alan Çalışmalar.....	2
2.2. Kuramsal Bilgiler .....	4
2.2.1. Temeller .....	4
2.2.2. Yüzeysel temeller.....	4
2.2.2.1. Duvar altı temelleri .....	5
2.2.2.2. Tekil temeller.....	6
2.2.2.3. Birleşik temeller.....	6
2.2.2.5. Sürekli temeller .....	8
2.2.2.6. Sürekli temellerde rijit analiz .....	9
2.2.2.7. Sürekli temellerde elastik analiz .....	12
3. MATERYAL VE METOT .....	19
3.1. Algoritmaların Oluşturulması .....	19
3.2. Optimizasyon Probleminin Matematiksel Modellenmesi.....	19
3.2.1. Sürekli temellerde negatif gerilme dağılımını hesaplama modeli .....	19
3.2.2. Sürekli temellerde optimum modelin belirlenmesi.....	19
3.3. Optimizasyon Yöntemleri .....	20
3.3.1. Klasik optimizasyon yöntemi .....	21
3.3.2. Meta-sezgisel yöntemler .....	21
3.3.2.1. Yapay arı kolonisi yöntemi.....	22
3.3.2.2. Biyocoğrafya yöntemi .....	24
3.3.2.3. Ağaç tohum yöntemi .....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	30
5. SONUÇLAR .....	47
6. KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$P$	: Dış yük
$e$	: Eksantisite
$EI$	: Eğilme Rijitliği
$L$	: Temel uzunluğu
$K$	: Birim temel genişliğindeki yatak katsayısı
$K_0$	: Yatak katsayısı
$G$	: Ölü Yük
$Q$	: Hareketli Yük
$E$	: Deprem Yüğü
$f_{zn}$	: Zemin emniyet gerilmesi
$f_{zu}$	: Net Zemin Dayanımı
$h$	: Temel Yüksekliği
$b$	: Temel genişliği
$t$	: Temel kalınlığı
$\sigma_{zem}$	: Zemin Emniyet Gerilmesi
$\gamma_0$	: Çökme Değeri
$\theta_0$	: Dönme Değeri
$\sigma_{maks}$	: Maksimum zemin gerilmesi

### Kısaltmalar

ABC	: Artificial Bee Colony
CUDA	: Compute Unified Device Architecture
BBO	: Biyo-Coğrafya Optimizasyonu
DE	: Diferansiyel Evrim



EA	: Evrim Algoritması
FA	: Ateşböceği Algoritması
GA	: Genetik Algoritma
GABC	: Geliştirilmiş Yapay Arı Koloni
HS	: Harmoni Arama Algoritması
PSA	: Parçacık Sürü Algoritması
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
PS-EA	: Parçacık Sürü Algoritmasından İlham Alınan Evrim Algoritması
PVD	: Pressure Vessel Design
SGA	: Saplama Genetik Algoritması
SPSO	: Standart Parçacık Sürü Optimizasyonu
TSA	: Ağaç Tohum Algoritması

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Duvar altı temeli (Ahmad 2017).....	5
Şekil 2.2. Duvar altı temeli kesme kuvveti ve eğilme momenti değişimi (Ahmad 2017) .....	5
Şekil 2.3. a) Tekil temelin 3 boyutlu gösterimi; b) Tekil temelin üstten ve yandan gösterimi (Topcu 2019).....	6
Şekil 2.4. a) Tekil temelin perspektif gösterimi; b) Tekil temelin plan gösterim (Topçu 2019).....	6
Şekil 2.5. a) Birleşik temelin dikdörtgen gösterimi; b) Birleşik temelin yamuk gösterimi (Topcu 2019) .....	7
Şekil 2.6. Kirişsiz plak temel (Topçu 2019) .....	7
Şekil 2.7. Kirişli plak temel (Topçu 2019).....	8
Şekil 2.8. Sürekli temeller (Topçu 2019).....	8
Şekil 2.9. Sürekli temel tasarımı modeli.....	9
Şekil 2.10. Sürekli temel soru örneği.....	10
Şekil 2.11. Örneğin kesme kuvveti ve moment diyagramı (Ersoy 2011).....	11
Şekil 2.12. İki dikey kesit arası bileşke gösterim örneği (Hetenyi 1946).....	13
Şekil 2.13. Elastik zemin örneği (Hetenyi 1946).....	17
Şekil 3.1. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması (Öztürk 2002).....	21
Şekil 3.2. ABC algoritması akış şeması.....	22
Şekil 3.3. BBO algoritması akış şeması.....	25
Şekil 3.4. TSA algoritması akış şeması.....	28
Şekil 4.1. Sürekli temel 4.1a örneği.....	30
Şekil 4.2. Sürekli temel 4.1a örneği zemin gerilme dağılımı negatif gerilme dağıtılmadan.....	33
Şekil 4.3. Sürekli temel 4.1a örneği için SAP 2000 kullanılarak elde edilen deformasyonu .....	33
Şekil 4.4. 4.1a örneği için TSA yöntemi ile elde edilen zemin gerilme dağılımı .....	34
Şekil 4.5. Sürekli temelde 4.1a örneği için yakınsama durumu.....	35
Şekil 4.6. Sürekli temel 4.1b örneği kuvvet ve moment girdileri.....	35
Şekil 4.7. Sürekli temel 4.1b örneği için zemin gerilme dağılımı .....	37

<b>Şekil 4.8.</b> Sürekli temel 4.1b örneği için SAP 2000 kullanılarak elde edilen deformasyonu .....	37
<b>Şekil 4.9.</b> Sürekli temel 4.1b örneği için TSA yöntemi ile elde edilen zemin gerilme dağılımı .....	38
<b>Şekil 4.11.</b> Sürekli temelde farklı eksantrisite durumu için yükleme durumu .....	39
<b>Şekil 4.12.</b> Sürekli temelde TSA yöntemi kullanılarak eksantrisite bağlı katsayıların dağılım grafiği .....	44
<b>Şekil 4.13.</b> Sürekli temelde 2. örneğin 0.2L eksantrisite değeri için yakınsama durumu .....	44
<b>Şekil 4.14.</b> Sürekli temelde 2. örneğin 0.25L eksantrisite değeri için yakınsama durumu .....	45
<b>Şekil 4.15.</b> Sürekli temelde 2. örneğin 0.30L eksantrisite değeri için yakınsama durumu .....	45
<b>Şekil 4.16.</b> Sürekli temelde 2. örneğin 0.35L eksantrisite değeri için yakınsama durumu .....	45
<b>Şekil 4.17.</b> Sürekli temelde 2. örneğin 0.40L eksantrisite değeri için yakınsama durumu .....	46
<b>Şekil 4.18.</b> Sürekli temelde 2. örneğin 0.45L eksantrisite değeri için yakınsama durumu .....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yatak katsayısı değer aralığı .....	12
Çizelge 4.1. Başlangıç noktası için zemin gerilme değerleri.....	39
Çizelge 4.2. ABC Optimizasyon yöntemi için maksimum zemin gerilmesi .....	40
Çizelge 4.3. ABC Optimizasyon yöntemi için hata ve katsayı değerleri.....	40
Çizelge 4.4. BBO Optimizasyon yöntemi için maksimum zemin gerilmesi .....	40
Çizelge 4.6. TSA Optimizasyon yöntemi için maksimum zemin gerilmesi .....	41
Çizelge 4.7. TSA Optimizasyon yöntemi için hata ve katsayı değerleri .....	41
Çizelge 4.8. Optimizasyon yöntemleri ve 0.2L eksantrisite için hata fonksiyonu.....	42
Çizelge 4.9. Optimizasyon yöntemleri ve 0.25L eksantrisite için hata fonksiyonu.....	42
Çizelge 4.10. Optimizasyon yöntemleri ve 0.30L eksantrisite için hata fonksiyonu.....	43
Çizelge 4.11. Optimizasyon yöntemleri ve 0.35L eksantrisite için hata fonksiyonu.....	43
Çizelge 4.12. Optimizasyon yöntemleri ve 0.4L eksantrisite için hata fonksiyonu.....	43
Çizelge 4.13. Optimizasyon yöntemleri ve 0.45L eksantrisite için hata fonksiyonu.....	43

## 1. GİRİŞ

Başlıca ev, okul, yurt, cami, vb. gibi yapılar kendi (ölü) yükü ve onları etkileyen deprem, rüzgâr gibi yüklere maruz kalırlar. Bu yapıları etkileyen yükleri taşıyıp ve bu yükleri zemine güvenli bir şekilde aktaran betonarme yapılara temeller denir. Temeller genel olarak sığ ve derin olmak üzere iki gruba ayrılır. Derin temeller: Kazıklı temeller, Ayak temeller, Keson temeller olmak üzere kendi içinde üç gruba ayrılır. Sığ temeller ise, tekil temeller, sürekli temeller, radye temeller olmak üzere kendi içinde üç gruba ayrılır. Bu çalışmamızda sığ temellerinden olan, kolon altı bir doğrultuda uzanan elastik sürekli temeller üzerinde çalışılmıştır. Kolon yüklerinin artması ve zeminin taşıma gücünün azalmasıyla temel boyutları artmaya ve birine yaklaşmasıyla sürekli temelleri ortaya çıkartır. Sürekli temeller iki veya iki'den fazla kolona bağlı olarak çalışan ve zemin cinsi, zemin gerilmesi, temel genişliği gibi özelliklere bağlı olarak tasarlanan yapılardır. Yapılar özellikle yüksek katlı yapılar deprem, rüzgâr gibi yatay kuvvetler karşısında temellerinde yüksek moment oluşabilmektedir. Bu da temel gerilme dağılımı davranışlarında negatif gerilmelere sebep olmaktadır. Özellikle negatif gerilme olduğu zaman hemen gerilme dağılımının tekrar yapılması gerekmektedir. Tekrar gerilme dağılımı yapıldığı zaman temelde maksimum gerilmelerde artışlar meydana gelmektedir. Temel gerilmeleri eğer tek eksenli eğilme altında yapılırsa ver eşit olarak yapılırsa bunların tespiti oldukça zordur. Ancak sürekli temellerdeki gibi diğer elastik bir yay tanımlandığı zaman gerilme davranışı lineer olmayan bir davranış gösterdiği için bunu tespit edilmesi ve gerilme artışının yeniden yapılması oldukça güç olmaktadır. Bu tez çalışmasının esas amacı lineer olmayan gerilme davranışına sahip ve negatif gerilme oluşan sürekli temellerin gerilme dağılımını belirleyebilen bir algoritma ve bir model geliştirmektir. Tez çalışmasının ilk aşamasında bu gerilme davranışını elde edebilen denklem oluşturulmuştur. Denklem Hetenyi (1946) tarafından geliştirilen zemin gerilme denklemindeki ifadeleri düzeltme faktörleri ile çarparak oluşturulmuştur. Katsayılar belirlenirken sadece pozitif gerilmeleri dikkate toplam iç etkiler ile dış etkiler arasındaki farkın minimize edilmesi gerekmektedir. Katsayıların belirlenmesi meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri ile belirlenmiştir Daha sonra toplam dış yük (P), y, eksantisite (e), eğilme rijitliği (EI), temel uzunluğu (L) ve birim temel genişliğindeki yatak katsayısı (k) gibi parametrelere bağlı olarak düzeltme katsayısının nasıl değiştiği araştırılmıştır.

Tezin ikinci aşamasında ise birinci aşamanın sonunda elde edilen değişik düzeltme katsayıları değerlerini P, e, EI, L ve K parametrelerine bağlı olarak belirleyebilen matematiksel fonksiyonlar elde edilmiştir. Literatürde elastik temellerin negatif gerilme koşulunu dikkate alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden hem negatif gerilme etkisini dikkate alan denklem geliştirilmesi hem de bu düzeltme katsayılarına göre formül geliştirilmesi tezin özgün değerini oluşturmaktadır.

Tezin geri kalan kısmı aşağıdaki şekilde özetlenebilir; İkinci bölümde, kaynak taraması yapılarak tez çalışması ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan bahsedilecektir. Üçüncü bölümde, kısaca temel kavramı, rijit ve elastik temellerde gerilme dağılımından bahsedilmiştir. Daha sonra tez çalışmasında kullanılan denklemden, denklemdaki katsayıların belirlenmesinde kullanılan optimizasyon yöntemlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümün son kısmında ise P, e, EI, L ve K parametrelerine bağlı olarak belirleyebilen matematiksel fonksiyonların yapılarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Beşinci bölümde sonuçların yorumlanması ve tartışma kısmı bulunmaktadır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Literatürde Yer Alan Çalışmalar

Literatürde büyük dış merkezliliğe sahip temeller ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Hetenyi (1946), elastik tabanlı kiriş için winkler yöntemini süperpoze edecek şekilde formül geliştirilmiştir. Köseoğlu (1986), iki eksenli eğilme altında taban gerilmelerinin geniş açıklamalarının hesaplanmasını göstermiştir. Algin (2007a, b) çift eksenli eğilmenin kombinasyonuna maruz bırakılan bir dikdörtgen temelin minimum boyutlarını tahmin etmek için geleneksel deneme ve hata yöntemine bir alternatif olarak pratik bir cebirsel formül üzerine çalışmalar yapmıştır. Tabsh ve Shawwa (2005) farklı yatak katsayısı kullanılarak temele yay tanımlanıp sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme yapmıştır. Loukidis ve Tamiolakis (2017) ise temeli süreklilik olarak ele alan sonlu elemanlar analizi ile aynı döşeme sapmalarını ve eğilme momenti diyagramlarını üretmek ve yaylı mat analizi için gerekli olan Winkler yay sertliği sabitlerinin mekânsal varyasyonunu incelemiştir. Bu çalışmalarda temelin gerilme davranışı belirlenirken negatif gerilme etkisinin dikkate alınmadığı gözlenmektedir. Bununla birlikte literatürde negatif gerilme dağılımını dikkate alan çalışmalarda bulunmaktadır. Özmen (2011), iki eksenli eğilme altında dikdörtgen rijit temellerde taban gerilmelerini belirlemek için tekrarlayıcı yöntem geliştirmiştir. Bellos ve Bakas (2017) tarafından dikdörtgen rijit temelde; temelin deformasyonlarını ve sıkıştırma bölgelerini haritalandırmak için bir eksantriklik diyagramı geliştirilmiştir Luiz ve Chust (2017), yapmış oldukları çalışma da çift eksenli gerilme altında tekil temellerde gerilme davranışlarını incelemiştir. Aydoğdu (2016) tarafından dikdörtgen şekilli tekil temellerde iki eksenli eğilmeye göre sıfır gerilme bölgesindeki negatif yükü dağıtan tekrarlı bir yöntem geliştirmiştir. Bu çalışmalarda negatif gerilme dağılımı dikkate alınmasına karşın temel davranışı rijit olarak modellenmiştir.

Tez çalışmasında seçilen meta-sezgisel yöntemlerin uygulanması ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Karaboğa tarafından bal arılarının yiyecek arama, nektar toplama ve elde edilen kaynakları en verimli şekilde kovana getirme aşamalarından yola çıkarak geliştirilen Yapay Arı Kolonisi yöntemi ilk olarak çok değişkenli fonksiyonların analizinde kullanılmıştır Karaboğa ve Baştürk (2007). Bu çalışmada ABC yöntemi, Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Algoritması (PSA) ve Parçacık Sürü ilham alınan Evrim Algoritması (PS-EA) ile karşılaştırılmıştır. Karaboğa ve Baştürk (2008), ABC algoritmasını çok boyutlu sayısal problemler için diferansiyel evrim (DE), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve evrimsel algoritma (EA) ile karşılaştırılmıştır. Karaboğa ve Baştürk (2009), çok sayıda sayısal test fonksiyonunu optimize etmek için ABC algoritması kullanılmış ve bu algoritma tarafından üretilen sonuçlar, genetik algoritma (GA), parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (PSO), diferansiyel evrim (DE) algoritması ve evrim stratejileri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Zhu ve Kwong (2010) PSO'dan esinlenerek, sömürüyü iyileştirmek için küresel en iyi (gbest) çözüm bilgisini çözüm arama denklemine dahil ederek en iyi güdümlü ABC (GABC) algoritması adı verilen gelişmiş bir ABC algoritma önermiştir. Ding, Huang, Lu (2015) tarafından modal verilere dayalı hibrit arama stratejisi ile yapay arı kolonisi (ABC) algoritması kullanılarak yapısal hasar tespiti için bir yaklaşım önermiştir. Birçok mühendislik alanında bu yöntem kullanılmıştır. Örneğin, Çavuş ve Tuncer (2017) tarafından insansız hava araçları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması Rota Planlaması için kullanılmıştır. Saphioğlu, Şenel ve Topçu (2017) tarafından Köprü Çay

örneği kullanılarak hazne kapasitesinin optimizasyonu için Yapay Arı Kolonisi yöntemi ile modellenmiş ve diğer modellerle karşılaştırılmıştır. Öztürk (2017) tarafından betonarme tekil temellerin minimum maliyetle optimum tasarımları için Yapay Arı Koloni, Guguk Kuşu Arama, Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması adlarıyla bilinen çeşitli sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

Ağaç Tohum (TSO) optimizasyon yöntemi Kıran tarafından keşfedilmiş ve geliştirilmiştir. Kıran (2015) çalışmasında Ağaç Tohum Algoritması (TSA), ABC, PSO, Harmoni Arama (HS) algoritması, Ateşböceği algoritması (FA), vb. gibi 32 adet optimizasyon yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Kıran (2016) tarafından TSA kullanılarak bir kısıtlama optimizasyon problemi, iyi bilinen basınçlı kap tasarımı-PVD problemi çözülmüş ve elde edilen deneysel sonuçlar, yapay arı kolonisi (ABC) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) gibi son teknoloji yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Babalık, Çınar ve Kıran (2017) tarafından ağaç tohumu algoritmasının temel algoritmik süreci, kısıtlı optimizasyon problemlerini çözmek için Deb'in kuralları kullanılarak değiştirilmiş ve diğer optimizasyon problemleri ile karşılaştırılmıştır. Aslan, Beşirli, Kodaz ve Kıran (2018) tarafından Ağaç Tohum Algoritmasında bazı değişiklikler yapmış ve bu algoritmayı orijinal hali ile kıyaslanmıştır. Çınar ve Kıran (2018) tarafından popülasyon tabanlı ağaç-tohum algoritması ele almış ve CUDA platformu içerisinde paralel versiyonu geliştirilmiştir.

Biyo-Coğrafya yöntemi Simon (2008) tarafından geliştirilmiş, biyolojik çeşitlilik ve popülasyon tabanlı meta-sezgisel optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemle yapılan birçok çalışma mevcuttur. Başlıca Ergezer, Simon ve Du (2009) tarafından Biyo-coğrafya algoritması bazı değişiklikler yaparak performanslarını değerlendirmiştir. Maa, Simon (2011) tarafından sınırlandırılmış harmanlanmış BBO algoritması oluşturulmuş ve bu algoritma saplama genetik algoritmasına (SGA) ve standart parçacık sürüsü optimizasyonu (SPSO) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntem farklı mühendislik alanlarında kullanılmıştır. Hadidi ve Nazari (2013) tarafından, maliyeti minimize etmek amacıyla Biyo coğrafyaya dayalı optimizasyon (BBO) algoritması kullanılarak kabuk ve borulu ısı eşanjörü optimizasyon tasarımını geliştirilmiştir. Saraçoğlu, Güvenç, Dursun, Poyraz ve Duman (2013) tarafından Asenkron Motorların (ASM) elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin hızlı ve en düşük hatayla belirlenmesi amacıyla Biyo coğrafya tabanlı optimizasyonu (BBO) kullanarak geliştirilmiş ve Genetik Algoritma (GA) ile karşılaştırılmıştır. Toptaş, Hanbay ve Yeroğlu (2018) tarafından yangın görüntülerinin ayrıştırılması için Biyo Coğrafya tabanlı algoritma ile optimize edilmiştir.

Yüzeysel temeller konusunda optimizasyon çalışmalarını araştırdığımız kadarıyla pek fazla rastlanmamaktadır. Genellikle yapılan çalışmalar temel maliyetini minimize etmek amacıyla optimizasyon kullanılmaktadır. Bulduğumuz çalışmalarda benzer olarak, Camp ve Assadollahi (2015) tarafından tekil temelde CO<sub>2</sub> salınımı ile maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Aydoğdu (2017) tarafından ise meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılarak betonarme konsol istinat duvarının minimum maliyeti ve CO<sub>2</sub> salınımına göre optimum performansları araştırılmıştır.

Düzgün (2001) tarafından elastik zemine oturan temelleri kuvvet yöntemi ile analiz edip literatürdeki örneklerden yararlanarak sayısal hesabı için geliştirilen bilgisayar programı geliştirmiş, bu örnekleri SAP2000 ve Winkler yöntemi ile karşılaştırmıştır.

Sonuç olarak konu ile alakalı kaynaklar incelenmiş fakat elastik sürekli temellerin negatif gerilmesinin sönümlenmesi ve bu sönümleme için optimizasyon tabanlı algoritma kullanılması konusunda benzer bir çalışmaya rastlanmamaktadır.

## 2.2. Kuramsal Bilgiler

### 2.2.1. Temeller

Bir yapıya gelen rüzgâr, deprem, vb. gibi tüm yüklerin duvar, perde, kolon gibi elemanlar aracılığıyla güvenle zemine aktarmak için oluşturulan yapılara temel adı verilir. Bina, ev, okul, fabrika vb. gibi yapılar çelik, kagir ve genellikle betonarme temeller üzerine yerleştirilmiştir. Temellere gelen yüklerin aktarımında olası çökme ve dönmelerin önüne geçilmesi temelin taşıyıcı sisteminin gereksiz yere zorlanmasını engellemek bakımından önemlidir.

Temel zeminin taşıma kapasitesinin güvenilir olması taşıyıcı sistemin boyutlandırılması ve gelen etkilerin aktarılması bakımından önem taşır. Zemin gerilmesi hesabında  $G + Q$  yüklemesine dayanarak zemin güvenlik gerilmesi ile karşılaştırılır. Bir diğeri ise deprem etkisini de içeren  $G + Q + E$  yüklemesi nadir ve kısa süren bir durum olmaktadır.

Bu sebeple deprem yönetmeliği zemin güvenlik gerilmesinin 1.5 katı kadar arttırılabileceğinin yeterli ve güvenli olduğunu öngörmektedir.

$$f_{zu} = 1.5 \times Q_{zem} \quad (2.1)$$

Zemin dayanım hesabında denklem 3.1 esas alınmalıdır. Ayrıca temelin ağırlığı zemin gerilmelerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu artış temel ağırlığının birim beton ve zemin ağırlıkları arasındaki fark kadar oluşmaktadır. Bu fark yaklaşık olarak  $1.2 \text{ t/m}^3$  kabul edilirse zemin dayanımı ve yük katsayısı 1.5 kullanılırsa zemin dayanımının  $(1.2 \times 1.5 \times h)$  kadar azaltılmasına net zemin dayanımı olarak adlandırılmaktadır (Ersoy 2011). Denklem 3.2 de gösterilmektedir.

$$f_{zn} = f_{zu} - 1.8h \quad (2.2)$$

Yapıda kullanılacak temel kriterleri vardır. Bu kriterler zeminin emniyet gerilmesi aşılmayacak, yapıya zarar veren oturmalar olmayacak ve gelen yükü güvenle taşıyıp aktaracak şekilde tasarlanmalıdır. Tasarımı oluştururken zemini ve yapıyı birlikte düşünerek analiz edilmelidir.

Temeller üzerine gelen yüke ve zemin çeşidine bağlı olarak çeşitli şekillerde oluşturulabilmektedir. Temeller yüzeysel ve derin temeller olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Derin temeller, yapının durumuna ve zeminin taşıma gücü kapasitesinin derinlerde de ihtiyaç duyulmasına bağlı olarak kullanılan temel türüdür

### 2.2.2. Yüzeysel temeller

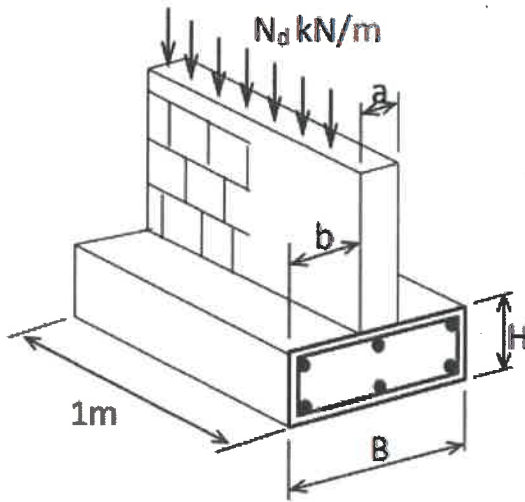
Yüzeysel temeller yapının zemin yüzeyinde veya yüzeyin yakınında yükünü güvenle taşıyabileceği yerlerde kullanılan temel türüdür. Sığ temeller olarak da adlandırılabilir.



Yüzeysel temeller duvar altı temelleri, tekil temeller, birleşik temeller, sürekli temeller ve radye temeller olmak üzere kendi içerisinde 4 gruba ayrılmaktadır.

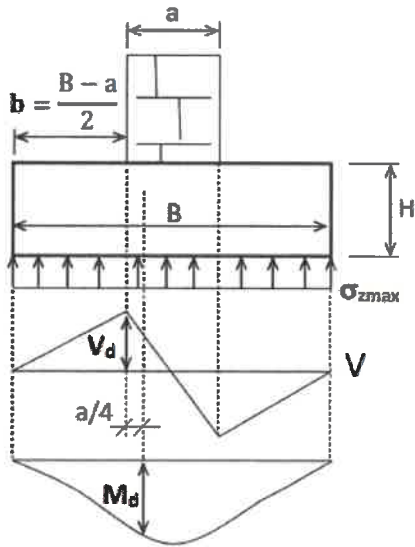
### 2.2.2.1. Duvar altı temelleri

Yüzeysel temellerden olan duvar altı temeli taşıyıcı duvar yükünü zemine güvenle aktaran temel türüdür (Şekil 2.1.). Bu temel türleri taşıyıcı duvar veya perdelerin altında kullanılmaktadır. Üzerine uygulanan yük duvar boyunca devam edeceğinden dolayı kısa doğrultusul birim (1m) boy kabul edilerek hesabı yapılmaktadır.



Şekil 2.1. Duvar altı temeli (Ahmad 2017)

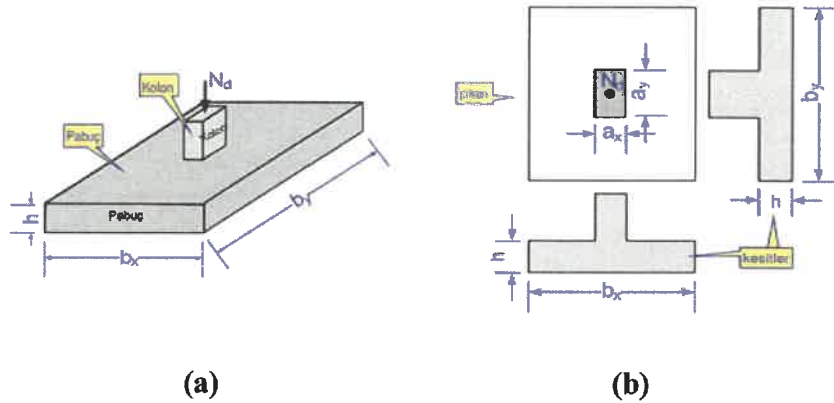
Bu temelde meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Duvar altı temeli kesme kuvveti ve eğilme momenti değişimi (Ahmad 2017)

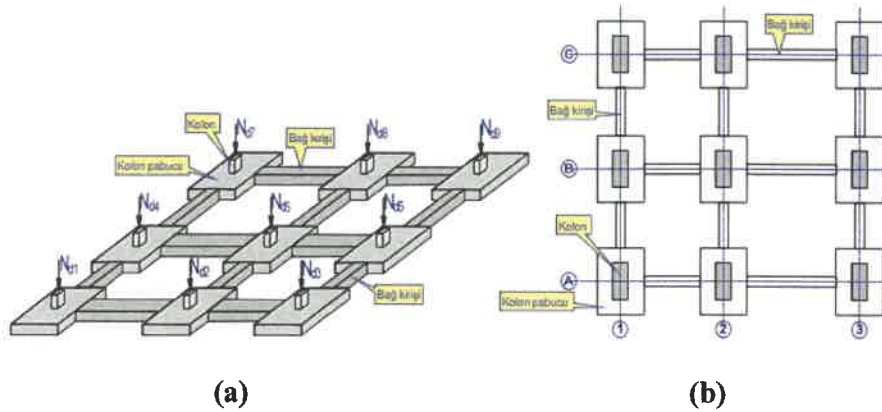
### 2.2.2.2. Tekil temeller

Tekil temeller yükün tek bir kolon aracılığıyla zemine aktarılması ve kolon aralıklarının geniş ve zemin emniyetinin çok düşük olmadığı durumlarda kullanılan temel türüdür. Bu temeller kare, dikdörtgen veya daire olmasına karşın genelde dikdörtgen ve yamuk şekilleri kullanılmaktadır. Kolonun konumu ve eğilme rijitliği momenti etkilemektedir. Bu sebeple kolon ve temel boyutları birbiri ile uyumlu olması gerekmektedir.



Şekil 2.3. a) Tekil temelin 3 boyutlu gösterimi; b) Tekil temelin üstten ve yandan gösterimi (Topçu 2019)

Şekil 2.3'te tekil temelin x ve y yönündeki genişlikleri sırasıyla  $b_x$  ve  $b_y$ 'dir. Temelin kalınlığı  $h$  ve temele gelen yük ise  $N_d$  olarak gösterilmektedir. Bu temellerin plan ve perspektif gösterimi Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

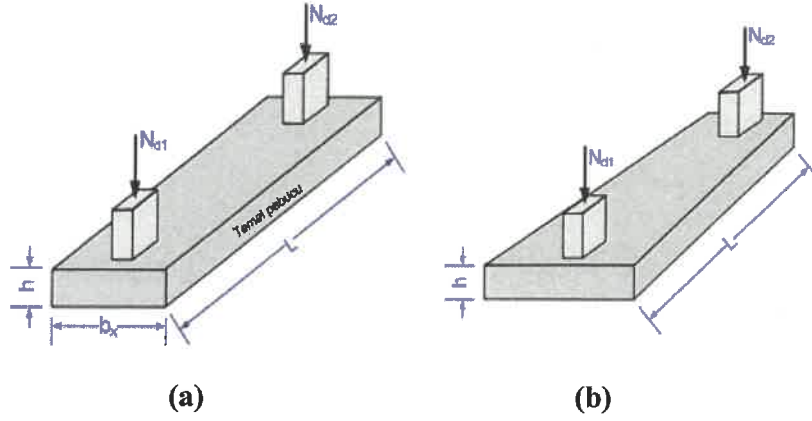


Şekil 2.4. a) Tekil temelin perspektif gösterimi; b) Tekil temelin plan gösterimi (Topçu 2019)

### 2.2.2.3. Birleşik temeller

Birleşik temeller kolona gelen yükün fazla olması, iki kolonun birbirine çok yakın olması durumunda kullanılmaktadır. Ayrıca arsa sınırına yakın olan kolonun yeterli çıkma sağlayamaması durumunda iki kolonun birleştirilmesi daha doğru bir seçenek olmaktadır.

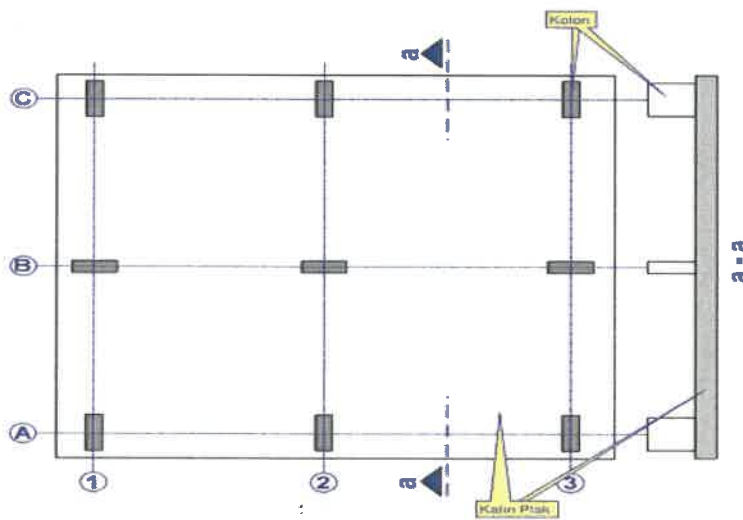
Bu temeller yamuk veya dikdörtgen şekilde tasarlanabilmektedir. Bu tasarımlar Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



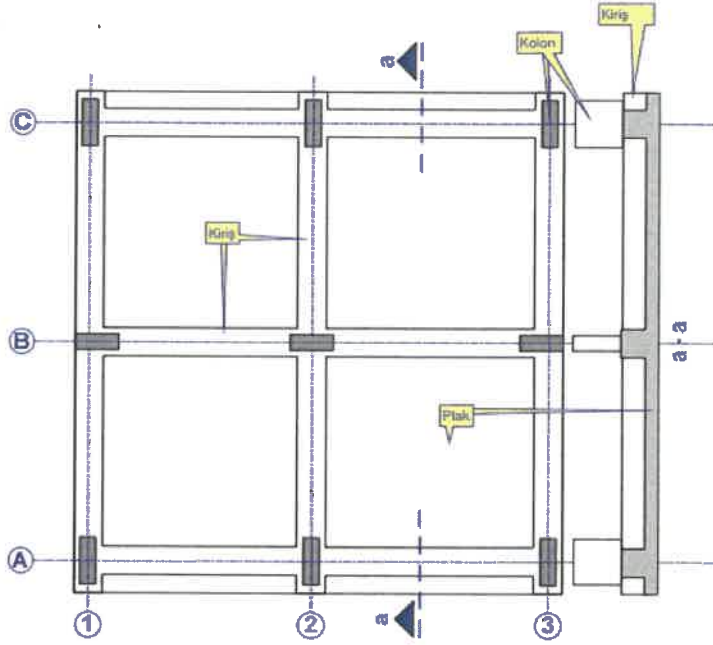
Şekil 2.5. a) Birleşik temelin dikdörtgen gösterimi; b) Birleşik temelin yamuk gösterimi ( Topcu 2019)

#### 2.2.2.4. Radye temeller

Radye temeller ise yapıya etkileyen yüklerin büyük olduğu ve zeminin taşıma gücünün zayıf veya zeminin taşıma gücünün çok değiştiği durumlarda bütün kolonların etkilediği geniş bir alanda farklı oturmaları önlemek amacıyla kullanılan temel türüdür. Plak temel olarak da adlandırılmaktadır. Zemin gerilmelerini küçültmek amacıyla bu temeller planda iki doğrultuda çıkma yapılmaktadır. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de gösterildiği gibi kirişli ve kirişsiz olarak gösterilmektedir. Ayrıca plak temel bodrum katın yeraltı suyunu karşı yalıtılmasında tercih edilmektedir. (Celep 2015) Kolonun alt kısımlarında zımbalama etkilerini azaltmak için kirişli plak temel kullanılmaktadır. Kirişli ve kirişsiz radye temellerin ters çevrilmesi durumunda sırasıyla kirişli ve kirişsiz döşemeye benzemektedir.



Şekil 2.6. Kirişsiz plak temel (Topcu 2019)

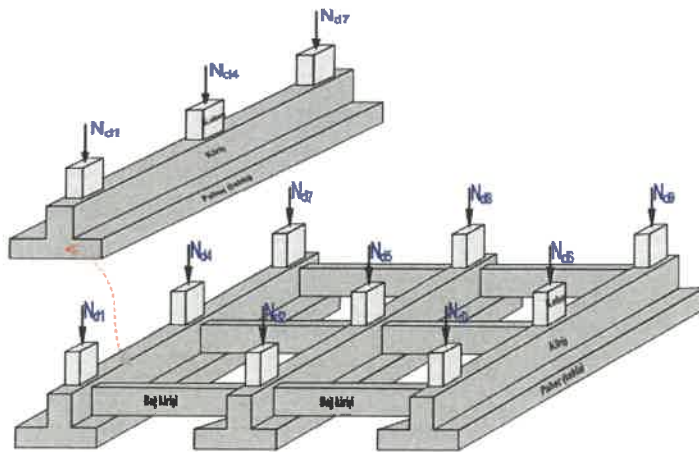


Şekil 2.7. Kirişli plak temel (Topçu 2019)

### 2.2.2.5. Sürekli temeller

Sürekli temeller yapıya gelen yüklerin büyük ve kolon aralıklarının yakın olması durumunda kullanılan temel türüdür. Bu temel türünün bir diğer kullanılma sebebi ise tekil temellerin boyutlarının çok büyük ve maliyetli olması durumunda da tercih edilebilmektedir. Deprem bölgelerindeki yapının temelindeki sürekli temelleri bağ kirişi ile bağlanması gerekmektedir. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi sürekli temelin bağ kirişleri ile bağlantısı plan halinde gösterilmektedir.

Sürekli temel türünün kesme kuvveti ve moment değişimini bulmak için iki farklı şekilde analiz edilmektedir. Bu temel türü zemin gerilme dağılımını rijit kabulü veya elastik kabulü ile istenilen kesme kuvveti ve moment elde edilmektedir.

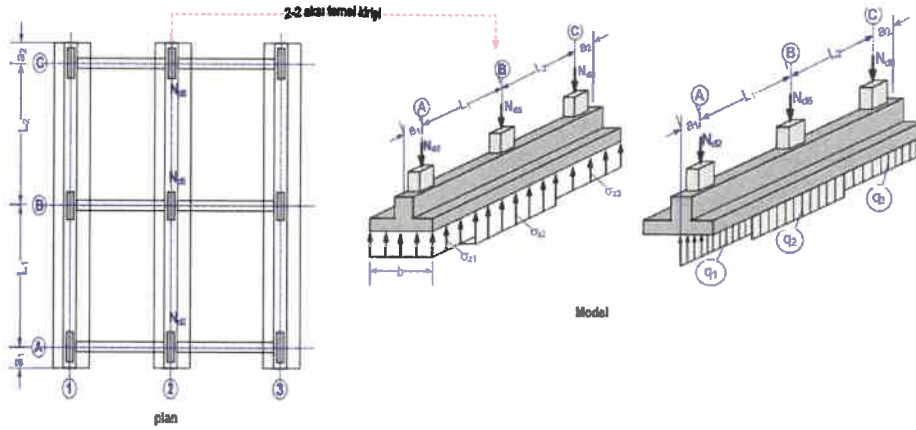


Şekil 2.8. Sürekli temeller (Topçu 2019)

### 2.2.2.6. Sürekli temelerde rijit analiz

Sürekli temelerde rijit analiz kullanılması durumunda kolonlardan gelen yüklerin bileşkesi elde edilmektedir. Bu bileşkenin etkiye noktası ve temelin geometrik merkezi çakıştırılmasıyla taban basınç dağılımı düzgün halde analiz edilmesi sağlanmaktadır. Tekil teme benzer olarak hesap edilmektedir.

Sürekli temeller dikkat edilmesi gereken bazı koşullara veya şartlara bağlı olmaktadır. Kenar açıklıklarda bir engel olmaması durumunda en dış kolonlar dışarıya doğru konsol çıkarılabilmektedir. Bu konsol boyları genellikle temel uzunluğunun dörtte biri veya beşte biri olarak alınabilmektedir. Şekil 2.9'da sürekli temelin bağ kirişleri kullanılarak birleştirilmesiyle oluşan bir sürekli temel tasarım örneği gösterilmektedir. Bir doğrultuda sürekli temellerin rijit analizi aşama olarak gösterilmektedir:



Şekil 2.9. Sürekli temel tasarımı modeli

#### Adım 1:

İlk aşama ön tasarım aşaması olarak temel uzunluk ve genişliği yaklaşık olarak belirlenmektedir. Bu aşamada temelin tabanında düzgün basınç dağılımını sağlamak için yüklerin bileşkesinin etkiye noktası ile temelin geometrik merkezi çakıştırılmaktadır. Şekil 2.9'dan yararlanılarak A kolonundan moment alındığında;

$$\bar{x} = N_{d2} + N_{d5} \times L_1 + N_{d8} \times (L_1 + L_2) \quad (2.3)$$

A kolon eksenini için  $L_1/5$  konsol uzunluğunu kullanırsak bu durumda temel uzunluğunun yarısını  $(L_1/5) + \bar{x}$  ile elde edilmektedir. Temel konsol boyu dahil uzunluğunu  $((L_1/5) + \bar{x}) \times 2$  ile hesaplanmaktadır.

$$B \geq \frac{\sum N}{L \cdot f_{zu}} \text{ Şartına bağlı olarak temel genişliği yaklaşık olarak belirlenmektedir.}$$

#### Adım 2:

Temel yüksekliğini zemindeki taban basıncında kullanılan neticesinde B kalınlık belirlenir.

$\sigma_z = \frac{\sum N}{L.B}$  denklemi neticesinde belirlenen kalınlık için taşıma gücü kontrolü yapılmaktadır.

Taşıma gücü kontrolü  $f_{zn} = f_{zu} - 18.H$  formülü yardımıyla yapılmaktadır.

$f_{zn} > \sigma_z$  kuralına uygun olarak temel kalınlığını seçilebilmektedir.

### Adım 3:

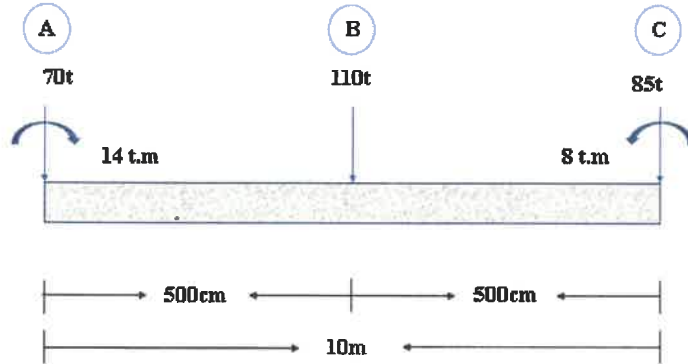
İç tesir hesaplarından bulmuş olduğumuz kesme kuvveti moment diyagramlarını değerlerini kullanılır.

Bir örnek yardımıyla gösterilecek olursa;

### **Örnek 2.1:**

Bu örnek referans alınmıştır (Ersoy 2011). Bu örneğin malzeme özellikleri aşağıda gözlemlenmektedir.

Malzeme: BS16 BÇ-I, Zemin Emniyet Gerilmesi:  $20 \text{ t/m}^2$ , Kolonlar:  $30 \times 40$  (temel ekseninde  $40 \text{ cm}$ )



Şekil 2.10. Sürekli temel soru örneği

### Adım 1:

İlk aşama ön tasarım aşaması olarak temel uzunluk ve genişliği yaklaşık olarak belirlenmektedir. Bu aşamada temelin tabanında düzgün basınç dağılımını sağlamak için yüklerin bileşkesinin etkiye noktası ile temelin geometrik merkezi çakıştırılmaktadır.

$$f_{zu} = \sigma_{zem} \times 1.5 = 20 \times 1.5 = 30 \text{ t/m}^2$$

Şekil 2.9'dan yararlanılarak toplam kesme kuvveti  $R = 70 + 110 + 85 = 265 \text{ t}$  elde edilmektedir.

A kolonundan moment alındığında,  $\bar{x} = (14 + 110 \times 5 + 85 \times 10 - 8) / 265 = 5.3 \text{ m}$  ağırlık merkezi değeri elde edilmektedir.

A kolon eksenini için  $500/5 = 100 \text{ cm}$  konsol uzunluğunu kullanırsak bu durumda temel uzunluğunun yarısını  $530 + 100 = 630 \text{ cm}$  elde edilmektedir. Bu durumda temel uzunluğu (konsol boyu dahil),  $L = 630 \times 2 = 1260 \text{ cm} = 12.6 \text{ m}$  olmaktadır.

$$B \geq \frac{265}{12.6 \times 30} = 0.7 \text{ m}$$

Şartına bağlı olarak temel genişliği  $b=80 \text{ cm}$  seçilmektedir.

### Adım 2:

Temel yüksekliğini zemindeki taban basıncında kullanılan neticesinde B kalınlık belirlenir.

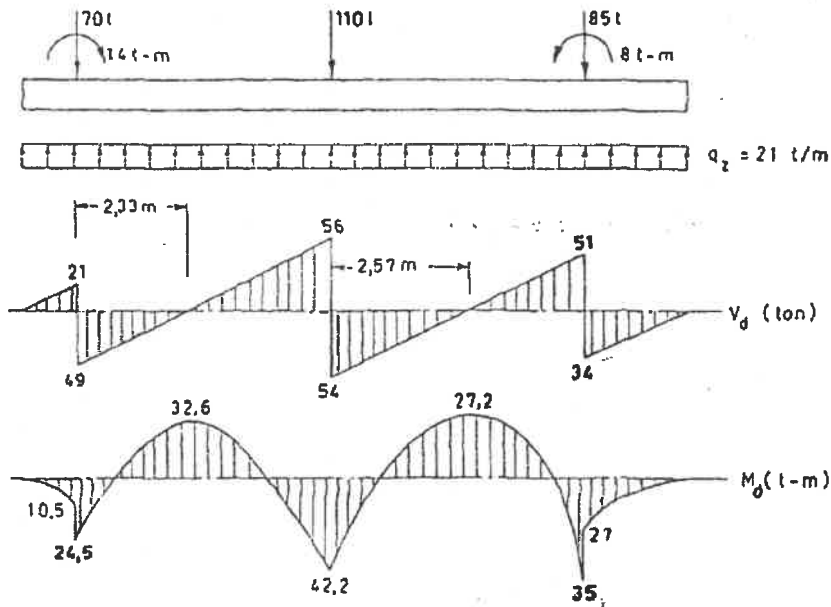
$\sigma_z = \frac{265}{12.6 \times 0.8} = 26.3 \text{ t/m}^2$  zemin gerilmesi değeri ile belirlenen kalınlık için taşıma gücü kontrolü yapılmaktadır.

Taşıma gücü kontrolü  $f_{zn} = f_{zu} - 18.H$  formülü yardımıyla yapılmaktadır. Temel yüksekliği,  $H=100 \text{ cm}$  varsayıldığında,  $f_{zn} = 30 - 1.8 \times 1 = 28.2 \text{ t/m}^2$  olmaktadır.

$f_{zn} > \sigma_z$  kontrol edildiğinde  $28.2 \text{ t/m}^2 > 26.3 \text{ t/m}^2$  koşulunun sağlandığı görülmektedir.

### Adım 3:

Rijit analizde zemin gerilmesi üniform yük olarak kabul edilip iç tesir hesapları yapıldığında şekil 2.11'deki kesme kuvveti ve moment diyagramları elde edilmektedir.



Şekil 2.11. Örneğin kesme kuvveti ve moment diyagramı (Ersoy 2011)

### 2.2.2.7. Sürekli temelerde elastik analiz

Sürekli temelerde elastik kabulünü için zemin gerilmeleri elastik olarak düşünülmektedir. Bu sebeple dağılımı düzgün yayılı şekilde oluşmamaktadır. Bu temele etki eden düşey kuvvetler temelin kaymasına ve sürekli dağılmış reaksiyon kuvvetleri oluşmasına sebep olmaktadır. Bu reaksiyon kuvvetleri ile ilgili olarak, herhangi bir noktada  $p$  çökme değeri, o noktada düşey hareketi ile orantılı  $p = ky$  olduğu temel varsayımını yapılmaktadır. Reaksiyon kuvvetlerinin dikey olarak hareket ettiği ve kirişin hareketine karşı etki olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle, düşey yönde aşağı doğru (pozitif) yönlendirildiğinde, takviye ortamında bir sıkıştırma oluşmaktadır, ancak diğer yandan, düşey hareketin negatif olduğu yerlerde, gerilim üretilmektedir; Elastik kabulü olan zemin gerilmelerinin bu tür gerilme kuvvetlerini kaldırabileceği varsayılmaktadır.  $p = ky$  varsayımı, zeminin elastik olduğu ifadesini belirtmektedir. Diğer bir değiş ise Hooke kanununa uyması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, elastikiyeti, bir alana kadar yayılan, bir düşey harekete neden olan kuvvet ile karakterize edilebilmektedir.

Düşey yönde düzgün bir kesite sahip ve  $b$ 'nin temel üzerinde desteklenen sabit genişliğinin olduğu varsayılmaktadır. Düşey hareketin bir birim çökmesi, temelde  $bko$  tepkimesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, çökmenin  $y$  olduğu bir noktada dağılmış reaksiyonun iç bölgesi kirişin birim uzunluğu Denklem 2.4 olarak ele alınmaktadır.

$$K = K_0 b \quad (2.4)$$

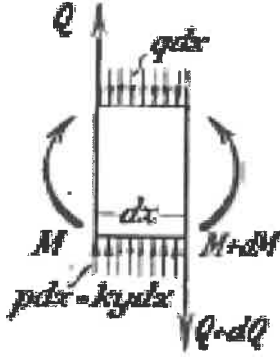
Denklem 2.3'te  $K_0$  yatak katsayısı,  $b$  temel genişliği,  $k$  ise birim temel genişlik için kullanılan yatak katsayısı olmaktadır. Yatak katsayısı zeminin türüne bağlı olarak değişmektedir. Zemin türlerine göre yatak katsayısının yaklaşık değerleri çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Yatak katsayısı değer aralığı

Zemin Cinsi	$K_0(\text{t/m}^3)$
Gevşek kum	1000-2000
Orta sıkı kum	2000-5000
Sıkı kum	5000-10000
Sıkı kumlu çakıl	10000-15000
Yumuşak kil	500-1000
Orta sert kil	1000-1500
Sert kil	1500-3000

Çökme esnasında, dikey reaksiyonların yanı sıra, zeminin temelle temas ettiği yüzey boyunca kaynaklanan bazı yatay (sürtünme) kuvvetler de oluşabilmektedir. Temel üzerindeki reaksiyon kuvvetlerinin her kesitte dikey olduğu kabul edilmektedir.





Şekil 2.12. İki dikey kesit arası bileşke gösterim örneği (Hetenyi 1946)

İki dikey kesit arasında, sınırdaki  $dx$  mesafesinin arasındaki küçük bir elementi ele aldığımız varsayılmaktadır. Bu elementin, temelin dağıtılmış bir yükleme hacmi ile etki ettiği bir kısımdan alındığını kabul edilmektedir. Böyle bir eleman üzerine uygulanan kuvvetler, kesitin solundaki yukarı hareket eden kesme kuvveti  $Q$ , karşılık gelen bükme momenti ( $M$ ) olduğu gibi, eleman üzerinde soldan hareket eden saat yönünde bir anı olan ( $Q$  anı) pozitif olarak kabul edilmektedir. Bu pozitif yönler. Şekil 2.12'deki elementin dengesi göz önüne alındığında, düşey kuvvetlerin toplamının

$Q - (Q + dQ) + kydx - qdx = 0$ , verdiğini görülmekte ve Denklem 2.5 oluşmaktadır.

$$\frac{dQ}{dx} = ky - q \quad (2.5)$$

$Q = dM/dx$  eşitliğini kullanarak, Denklem 2.6 yazılabilmektedir.

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2} = ky - q \quad (2.6)$$

Bir temelin bilinen diferansiyel denklemini kullanarak,  $EI(d^2y/dx^2) = -M$  ve iki kere türevi alınarak denklem 2.7 oluşturulmaktadır.

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} = -\frac{d^2M}{dx^2} \quad (2.7)$$

Dolayısıyla denklem 2.6'i kullanılarak Denklem 2.8 oluşturulmaktadır.

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} = -ky + q \quad (2.8)$$

Elastik bir temel üzerinde desteklenen kirişin çökme eğrisi için diferansiyel denklemi Denklem 2.8'de gösterilmektedir. Kirişin boşta kalan kısımları boyunca, dağıtılmış yükün etkili olmadığı,  $q = 0$  kabulü ile Denklem 2.9 oluşmaktadır.

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} = -ky \quad (2.9)$$

Aşağıda sadece Denklem 2.9'nin genel çözümünün dikkate alınmaktadır. Denklem 2.7'de belirtilen durumlar için de Denklem 2.8'de  $q$ 'ya tekabül eden özel bir integral eklenerek çözüm elde edilmektedir.

Denklem 2.9'de  $y = e^{mx}$  değiştirilerek, karakteristik denklemi elde edilmektedir.

$$m^4 = -\frac{k}{EI}$$

Denklemin kökleri;

$$m_1 = -m_3 = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} (1 + i) = \lambda (1 + i)$$

$$m_2 = -m_4 = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} (-1 + i) = \lambda (-1 + i)$$

Denklem 2.8'in genel çözümü denklem 2.10'daki biçimi oluşturulmaktadır.

$$y = A_1 e^{m_1 x} + A_2 e^{m_2 x} + A_3 e^{m_3 x} + A_4 e^{m_4 x} \quad (2.10)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$$

$$e^{i\lambda x} = \cos \lambda x + i \sin \lambda x \quad (2.11)$$

$$e^{-i\lambda x} = \cos \lambda x - i \sin \lambda x$$

Denklem 2.11 kullanılarak ve yeni,  $C_1, C_2, C_3$  ve  $C_4$ , sabitlerini tanımlanıp Denklem 2.10 daha uygun bir şekilde denklem 2.12'de yazılabilmektedir.

$$(A_1 + A_2) = C_1 \quad i(A_1 - A_2) = C_2$$

$$(A_3 + A_4) = C_3 \quad i(A_3 - A_4) = C_4$$

$$y = e^{\lambda x} (C_1 \cos \lambda x + C_2 \sin \lambda x) + e^{-\lambda x} (C_3 \cos \lambda x + C_4 \sin \lambda x) \quad (2.12)$$

Burada  $\lambda$ , kirişin bükülme sertliğini ve ayrıca bulunduğu ortamın esnekliğini içermekte ve elastik çizginin şeklini etkileyen önemli bir faktör olmaktadır. Bu nedenle, faktör  $\lambda$ 'ya sistemin karakteristiği denilmekte ve  $1/\lambda$  terimi sıklıkla karakteristik uzunluk olarak ifade edilmektedir.  $\lambda l$  boyutsuz büyüklüğü ise bağıl rijitlik olarak adlandırılmaktadır. Sonuç olarak,  $\lambda x$  mutlak bir sayı olarak kabul edilmektedir.

İfade Denklem 2.12 elastik bir temel üzerinde desteklenen ve enine bükülme kuvvetlerine maruz bırakılan, ancak  $q$  yükü bulunmayan düz prizmatik çubuğun sapma çizgisi için genel çözümü temsil etmektedir. Dağıtılmış bir yük olduğunda ek bir terim gerekmektedir. Denklem 2.12'in farklılaşması ile aşağıdaki denklemler elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda} \frac{dy}{dx} &= e^{\lambda x} [C_1(\cos \lambda x - \sin \lambda x) + C_2(\cos \lambda x + \sin \lambda x)] \\ &\quad - e^{-\lambda x} [C_3(\cos \lambda x - \sin \lambda x) - C_4(\cos \lambda x + \sin \lambda x)] \\ \frac{1}{2\lambda^2} \frac{d^2y}{dx^2} &= -e^{\lambda x} (C_1 \sin \lambda x - C_2 \cos \lambda x) + e^{-\lambda x} (C_3 \sin \lambda x - C_4 \cos \lambda x) \\ \frac{1}{2\lambda^3} \frac{d^3y}{dx^3} &= -e^{\lambda x} [C_1(\cos \lambda x + \sin \lambda x) - C_2(\cos \lambda x - \sin \lambda x)] \\ &\quad + e^{-\lambda x} [C_3(\cos \lambda x - \sin \lambda x) + C_4(\cos \lambda x + \sin \lambda x)] \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta, \quad -EI \frac{d^2y}{dx^2} = M \text{ ve } -EI \frac{d^3y}{dx^3} = Q \quad (2.14)$$

Denklem 2.13 var olduğu bilerek, eğilme momenti  $M$  ve kesme kuvveti için olduğu gibi sapma çizgilerinin  $\theta$  eğimi için Denklem 2.13'de genel ifadeler ile elde edilmektedir. Temeldeki basınç yoğunluğu Denklem 2.11'den  $p = ky$  olarak bulunmaktadır.

Bu genel denklemleri veya  $q$ 'ya bağlı terimi içeren karşılık gelenleri uygulamada, belirli durumlarda bir sonraki adım,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  ve  $C_4$  entegrasyon sabitlerini belirlenmektedir. Bu entegrasyon sabitleri, temelin yüklenmeye maruz kalmasına ve elastik çizginin ve tüm türevlerinin sürekli olduğu temelin her kısmı boyunca sabit değerlere sahip olma şekline bağlı olmaktadır. Değerleri, bu sürekli bölümlerin iki ucunda mevcut olan koşullarından elde edilebilmektedir.

$$\begin{aligned} [y]_{x=0} &= y_0 = C_1 + C_3 \\ \left[ \frac{dy}{dx} \right]_{x=0} &= \theta_0 = \lambda(C_1 + C_2 - C_3 + C_4) \\ \left[ -EI \frac{d^2y}{dx^2} \right]_{x=0} &= M_0 = 2\lambda^2 EI (-C_2 + C_4) \\ \left[ -EI \frac{d^3y}{dx^3} \right]_{x=0} &= Q_0 = 2\lambda^3 EI (C_1 - C_2 - C_3 - C_4) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Bir temel çeşitli yüklere maruz kaldığında, elastik çizgi sürekli bölümler halinde çözülebilmektedir (Şekil 2.11). Devamında orta noktalarda, kirişin malzeme sürekliliğinin göz önünde bulundurulması, her bir bölüm için entegrasyon sabitlerinin belirlenmesi için veriler sağlanmaktadır.

Her ne kadar matematik açısından sorun bu şekilde tamamen çözülebilsede prosedür zahmetli olmakta ve pratik hesaplama için uygun şekilde olmamaktadır. Ancak, eğer genel çözüm, entegrasyon sabitleri, son koşullar açısından fiziksel bir yorum elde edecek şekilde yazılırsa, çalışma oldukça basitleştirilebilmektedir.

Bu çalışma için çeşitli yüklemeye maruz kalan bir kiriş düşünülürken (varsa, moment  $M$ , kuvvet  $P$  ve dağıtılmış yük  $q$  gibi) ve bu kirişin sol ucunda bir  $x, y$  koordinat sistemi baz alınarak Şekil 2.12'deki gibi bir zemin kullandığımız varsayılmaktadır. Denklem 2.12 ve denklem 2.13'deki denklemlerde bir temel için  $y, \theta, M$  ve  $Q$  bütünleşme sabitleri elde edilmektedir. Bu denklemler  $x=0$  olduğunda, kirişimizin sol ucundaki koşulları denklem 2.15'teki gibi ele alınmaktadır.

C bilinmeyen değerleri Denklem 2.16'te gösterilmektedir.

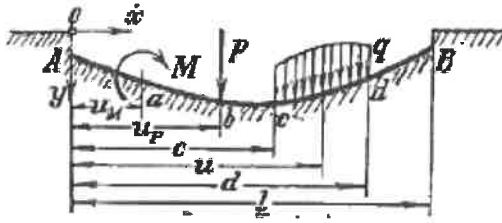
$$\begin{aligned}
 C_1 &= \frac{1}{2}y_0 + \frac{1}{4\lambda}\theta_0 + \frac{1}{8\lambda^3EI}Q_0 \\
 C_2 &= \frac{1}{4\lambda}\theta_0 - \frac{1}{4\lambda^2EI}M_0 - \frac{1}{8\lambda^3EI}Q_0 \\
 C_3 &= \frac{1}{2}y_0 + \frac{1}{4\lambda}\theta_0 - \frac{1}{8\lambda^3EI}Q_0 \\
 C_4 &= \frac{1}{4\lambda}\theta_0 + \frac{1}{4\lambda^2EI}M_0 - \frac{1}{8\lambda^3EI}Q_0
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

Denklem 2.12'deki C değerleri değiştirilerek,  $\frac{1}{2}(e^{\lambda x} + e^{-\lambda x}) = \cosh \lambda x$  ve  $\frac{1}{2}(e^{\lambda x} - e^{-\lambda x}) = \sinh \lambda x$  yerleştirildiğinde genel elastik çizginin Denklem 2.17'de ortaya çıkmaktadır.

$$\begin{aligned}
 y_x(x) &= y_0 F_1(\lambda x) + \left(\frac{1}{\lambda}\right)\theta_0 F_2(\lambda x) - \left(\frac{1}{\lambda^2 EI}\right)M_0 F_3(\lambda x) \\
 &\quad - \left(\frac{1}{\lambda^3 EI}\right)Q_0 F_4(\lambda x) \\
 &\quad - \left(\frac{1}{\lambda^2 EI}\right)M F_3[\lambda(x - U_M)] + \left(\frac{1}{\lambda^3 EI}\right)P F_4[\lambda(x - U_P)] \\
 &\quad + \left(\frac{1}{\lambda^3 EI}\right)\int_0^x q F_4[\lambda(x - U)] du
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

Denklem 2.17 içindeki  $F_1, F_2, F_3$  ve  $F_4$  fonksiyonların açılımları aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
F_1(\lambda x) &= \cosh \lambda x \cos \lambda x \\
F_2(\lambda x) &= \frac{1}{2} (\cosh \lambda x \sin \lambda x + \sinh \lambda x \cos \lambda x) \\
F_3(\lambda x) &= \frac{1}{2} \cosh \lambda x \cos \lambda x \\
F_4(\lambda x) &= \frac{1}{4} (\cosh \lambda x \sin \lambda x - \sinh \lambda x \cos \lambda x)
\end{aligned} \tag{2.18}$$



Şekil 2.13. Elastik zemin örneği (Hetenyi 1946)

Denklem 2.17 için genel çözümün, önceki bütünleşme sabitlerinin kirişin  $x=0$  noktasında bulunan  $Y_0$ ,  $\theta_0$ ,  $M_0$  ve  $Q_0$  miktarları ile değiştirildiği bir formda yapılması gerekmektedir. Bu özellik nedeniyle denklem 2.17 için geliştirilen bu yöntemin entegrasyonun basit bir şekilde yorumlanması, önceki bölümde belirtilen yöntemle göre önemli bir avantaja sahip olduğu görülmektedir. Denklem 2.17 için daha genel bir ifadeye aşağıdaki mantık ile ulaşılabilmektedir:  $Y_0$ ,  $\theta_0$ ,  $M_0$  ve  $Q_0$  değerlerinin bilindiğini ve kirişin sol ucundan başladığımızda A-a arası boyunca yani ilk yükün kirişe uygulandığı noktaya gelinceye kadar sağa doğru ilerlediği varsayılmaktadır. Bu ilk yükün Şekil 2.12'de gösterildiği gibi bir M momenti olduğunu varsayılmaktadır. Bu moment M, başlangıç noktasının  $M_0$ 'ı A-a arasındakine benzer şekilde, uygulama noktasının sağında ( $x > U_M$ ) gibi bir etkiye sahip olması gerekmektedir. Elastik çizginin solundaki kısmı ise ( $0 < x < U_M$ ) gösterilmektedir. Denklem 2.17 için  $M_0$  faktörünün  $-(1/\lambda^2 EI)F_3(\lambda x)$  olduğunu göz önüne alındığında, bir andaki M momentin  $-(1/\lambda^2 EI)F_3[\lambda(x - U_M)]M$  değiştirici etkisine sahip olması gerektiği sonucuna varabilmektedir. M noktasının sağındaki elastik çizgi üzerinde  $x > U_M$  olmaktadır. Sonuç olarak, bu son ifadeyi Denklem 2.17'ye ekleyerek a-b kısmındaki sapma eğrisini elde edilmektedir. Benzer bir şekilde, P kuvvetinin b noktasının sağındaki sapma çizgisi üzerinde  $(1/\lambda^3 EI)F_4[\lambda(x - U_P)]P$  etkiye sahip olacağını görülmektedir. Son olarak, dağıtılmış q yükünün sonsuz küçük kuvvetlerden oluştuğu düşünüldüğü,  $x > c$  için etkisinin  $1/\lambda^3 EI \int_0^x q F_4[\lambda(x - U)] du$  olması gerektiği sonucuna varılabilmektedir.  $x > d$  için integralin üst sınırı d olmaktadır. Bu sonuçlar birleştiğinde ise Şekil 2.11 'de gösterildiği gibi bir durum kullanılarak çökme ifadesi Denklem 2.17'deki gibi gösterilmektedir.

Sürekli temellerde yükler genellikle kolonlardan noktasal kuvvet ve moment olarak aktarıldığı için  $\left(\frac{1}{\lambda^3 EI}\right) \int_0^x q F_4[\lambda(x - U)] du$  ifadesine ihtiyaç yoktur. Birden fazla noktada yükleme olması durumunda süperpozisyon ilkesi kullanılarak çökme ifadesi hesaplanabilir. Bu durumlar dikkate alındığında çökme ifadesi aşağıdaki gibi güncellenebilir.

$$\begin{aligned}
y_z(x) = & y_0 F_1(\lambda x) + \left(\frac{1}{\lambda}\right) \theta_0 F_2(\lambda x) - \left(\frac{1}{\lambda^2 EI}\right) M_0 F_3(\lambda x) \\
& - \left(\frac{1}{\lambda^3 EI}\right) Q_0 F_4(\lambda x) \\
& - \sum_{i=1}^{N_M} \left(\frac{1}{\lambda^2 EI}\right) M_i F_3[\lambda(x - U_{M,i})] + \sum_{i=1}^{N_P} \left(\frac{1}{\lambda^3 EI}\right) P_i F_4[\lambda(x - U_{P,i})]
\end{aligned} \tag{2.19}$$

Yukarıdaki denklemde  $N_P$  ve  $N_M$  ifadeleri sırasıyla toplam noktasal kuvvet ve moment sayılarını temsil etmektedir.

### 3. MATERYALVE METOT

#### 3.1. Algoritmaların Oluşturulması

Önerilen tez çalışmasında algoritmaların üç aşamada oluşturulması planlanmaktadır. İlk aşamada temel taban gerilme dağılımını modelleyen bir algoritma yazılması planlanmaktadır. Bu aşama için HETENYI tarafından elastik tabanlı kiriş için winkler yönteminin kullanılmıştır. İkinci aşamada birinci aşamada elde edilen algoritma optimizasyon işlemine uygun hale getirilmiştir. Son aşamada Yapay arı kolonisi, Biyocoğrafya ve Ağaç Tohum optimizasyon yöntemlerinin algoritmaları ilk iki aşamada oluşturulan algoritmalarla birleştirilmiştir. Algoritmaların tamamı MATLAB programlama dilinde hazırlanmıştır.

#### 3.2. Optimizasyon Probleminin Matematiksel Modellenmesi

##### 3.2.1. Sürekli temelerde negatif gerilme dağılımını hesaplama modeli

Winkler yöntemine göre elde edilen temeldeki çökme değerleri birim temel genişliğindeki zemin rijitliği ( $k_0$ ) ile çarpıldıktan sonra temeldeki taban gerilmesi hesaplanır (Denklem 3.1).

$$\sigma_z(x) = k_0 \cdot y_z(x) \quad (3.1)$$

Yüksek dış merkezlilik durumunda Denklem 2.17’de edilen ifadeye göre hesaplanan gerilme değerlerinde negatif değer oluşabilir. Zeminle temas etmeyen yüzeyde gerilme olmadığı için Denklem 2.19 ile hesaplanan negatif gerilme değerlerin sıfır olarak alınması gerekmektedir. Ancak bu durumda da dış kuvvet ile taban gerilmeleri arasındaki denge koşulları sağlanmayacaktır (denklem 3.2).

$$\sigma^*_z(x) = \begin{cases} 0 & \leftarrow \sigma_z(x) \leq 0 \\ \sigma_z(x) & \leftarrow \sigma_z(x) > 0 \end{cases}$$

$$\int \sigma_z(x) dx \neq \sum F \quad (3.2)$$

$$\int \sigma_z(x) \cdot x dx \neq \sum M$$

Bu durumda Denklem 2.19’in denge koşullarını sağlayacak şekilde güncellenmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında dört adet düzeltme çarpanı ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ) eklenerek Denklem 2.20’in aşağıdaki şekilde değiştirilmesi önerilmiştir.

##### 3.2.2. Sürekli temelerde optimum modelin belirlenmesi

Denklem 3.3’de tanımlanan düzeltme çarpanlarının denklem 3.2’de belirtilen denge koşullarını sağlayacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ancak gerilme dağılımının doğrusal olmaması nedeniyle bunun belirlemek oldukça güçtür. Literatürde daha önce geliştirilen yöntemlerde (Özmen 2011; Aydoğdu 2016; Bellos ve Bakas 2017) temel gerilme dağılımını doğrusal alındığı için mevcut çalışmada bu yöntemler çok etkili olmamıştır.

Tez çalışmasında en uygun düzeltme çarpanlarının elde edilebilmesi için optimizasyon işleminin uygulanması düşünülmüştür. Bunun için ilk olarak mevcut problem aşağıda belirtilen optimizasyon problemine dönüştürülmüştür.

$$\sigma_z^*(x) = k_0 \cdot \left( a_1 \cdot y_0 F_1(\lambda x) + a_2 \cdot \left( \frac{1}{\lambda} \right) \theta_0 F_2(\lambda x) - a_3 \right. \\ \cdot \left( \left( \frac{1}{\lambda^2 EI} \right) M_0 F_3(\lambda x) + \sum_{i=1}^{N_M} \left( \frac{1}{\lambda^2 EI} \right) M_i F_3[\lambda(x - U_{M,i})] \right) + a_4 \\ \cdot \left( \sum_{i=1}^{N_P} \left( \frac{1}{\lambda^3 EI} \right) P_i F_4[\lambda(x - U_{P,i})] - \left( \frac{1}{\lambda^3 EI} \right) Q_0 F_4(\lambda x) \right) \quad (3.3)$$

En uygun  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$  ifadelerini Denklem 3.4 fonksiyonu minimize edecek şekilde bulunur.

$$Hata(a_1, a_2, a_3, a_4) = \left| \frac{\int \sigma_z^*(x) dx}{\Sigma F} - 1 \right| + \left| \frac{\int \sigma_z^*(x) \cdot x dx}{\Sigma M} - 1 \right| \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemde  $\int \sigma_z^*(x) dx$  ve  $\int \sigma_z^*(x) \cdot x dx$  ifadeleri sadece pozitif taban gerilmelerin tarafından meydana gelen toplam kuvvet ve moment değerlerini temsil etmektedir. Bu değerlerin sırasıyla toplam dış kuvvet ( $\Sigma F$ ) ve momente ( $\Sigma M$ ) eşit olması istenilmektedir. Bu sebeple hata fonksiyonu bu kuvvet ve moment değerleri arasındaki mutlak bağıl farkların toplamı olarak tanımlanmıştır.

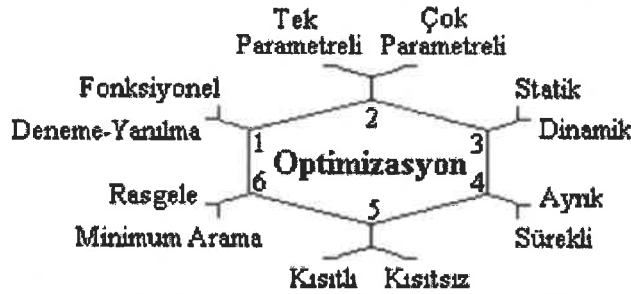
### 3.3. Optimizasyon Yöntemleri

Optimizasyon uygulanan problemin amacına bağlı olarak en uygun çözümü belirlemesidir. Optimizasyon probleminde çözüm aralığına bağlı olarak daha uygun hale getirilmesi veya sınırlara uygun değerlerin kombinasyonunun elde edilmesidir. Bir optimizasyon probleminin çözümü tasarım değişkenlerine, sınırlayıcılara ve amaca göre oluşturulan fonksiyonlara bağlı olmaktadır. Örneğin amaç fonksiyonun en büyük değeri  $f$  olduğu bir durumda en küçük değeri bulmak için  $-f$  ya da  $1/f$  hale dönüştürülerek hedef fonksiyona ulaşılabilmektedir.

Optimizasyon yöntemlerinin çoğu belirli problemlerde sınırlı olarak kullanılabilir. Dolayısıyla optimizasyon yöntemini kullanılabilmesi için problemin özelliklerine uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Optimizasyon problemine bağlı olarak uygun seçim yapılabilmesi için 6 alt başlıkta toplanacak olursak Şekil 3.1'e bağlı olarak sınıflandırılabilir.



1. Deneme-yanılma ile optimizasyon probleminde verileri etkileyen parametrelere bağlı olarak düzenlenmektedir. Bu yaklaşıma zıt olan fonksiyonel özellik ise matematiksel olarak ifade edilen fonksiyonlara bağlı olarak çözümün elde edilmesidir.
2. Bir amaç fonksiyonuna bağlı ise tek parametreliden fazla amaç fonksiyonuna bağlı ise çok parametreliden fazla amaç fonksiyonuna bağlı olarak optimizasyon oluşturulmaktadır.
3. Dinamik olarak yaklaşımda zamana bağlı olarak verilerin değişimi gözlemlenerek daha iyi sonuç alınması için kullanılmaktadır. Statik yaklaşımda ise zamandan bağımsız olarak en uygun çözümün bulunmasıdır.
4. Ayrık optimizasyon çözümü için parametrelerin sonlu sayıda belirli şekilde sıralanmasıyla kullanılmaktadır. Sürekli optimizasyon yaklaşımı ise bu parametrelerin sonsuz sayıda olması durumunda kullanılmaktadır.
5. Kısıtlı optimizasyon yaklaşımında amaç fonksiyonuna bağlı olarak parametrelerin sınırlandırılması ile oluşan optimizasyon şeklidir. Kısıtsız optimizasyon yaklaşımında ise parametrelerin amaç fonksiyonuna bağlı olarak maksimum veya minimum değişkenlerde bir kısıtlamaya bağlı olmadığı optimizasyon şeklidir.
6. Minimum arama yaklaşımı atanan ilk veriye bağlı olarak ona en minimum uzağındaki değeri bulmak için kullanılan optimizasyon şeklidir. Rastgele arama yaklaşımı ise rastgele veriler kullanılarak arama yapan optimizasyon şeklidir.



Şekil 3.1. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması (Öztürk 2002)

### 3.3.1. Klasik optimizasyon yöntemi

Klasik optimizasyon yöntemleri türevlenebilir ve sürekli fonksiyonların en uygun hale getirilmesi için kullanılan analitik teknikler kullanılan optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde en uygun noktaların bulunmasında türev hesabı ile alakalı yöntemler kullanılmaktadır. Her optimizasyon problemi sürekli ve türevlenebilir olmadığından dolayı kullanım alanları kısıtlı olmaktadır.

### 3.3.2. Meta-sezgisel yöntemler

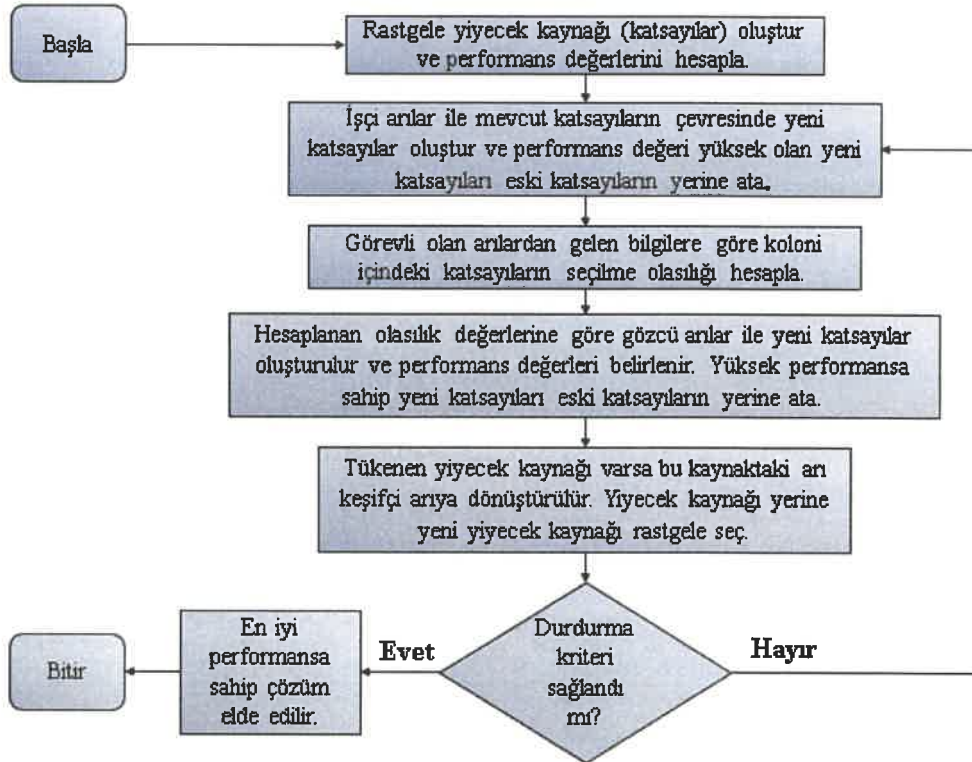
Meta sezgisel yöntemler genelde doğadaki olaylardan esinlenerek karmaşık bir optimizasyon probleminin çözümünün kesin olarak belirli süre içerisinde bulunması için tasarlanmış optimizasyon yöntemidir. Çok boyutlu karmaşık yapıda gerçek hayattaki problemlerin çözümünde en etkili ve en kısa sürede bulunması için kullanılan optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemin amacı parametrelerin çözüm aralığını optimum değerlerin pratik bir şekilde elde edilmesidir. Farklı optimizasyon problemlerinde değiştirilerek de kullanılabilir. Bu yöntemler günümüzde yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmamızda meta sezgisel yöntemlerden olan Yapay arı kolonisi, Biyocoğrafya ve Ağaç Tohum yöntemleri kullanılmaktadır.

### 3.3.2.1. Yapay arı kolonisi yöntemi

Yapay arı kolonisi yöntemi, Karaboğa (2005) tarafından arı kolonilerin polen toplama sırasında minimum enerji harcamak için yaptıkları davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş yöntemdir. Arı kolonisinin yaşamının devamının sağlanması için en önemli işlerden birisi besin aramadır. Kovan içinde biriktirilen kaynaklar ve ortamdaki bulunabilecek yiyecek kaynakları ve arıların etkileşimleri bu süreçte önemli bir rol oynar.

Görevi belli işçi arılar daha önceden belirlenmiş kaynaklardan toplanan yiyeceğin kovana getirmek ve gittikleri kaynağın konum ve kalite bilgilerini kovadaki diğer arılarla paylaşmaktır. Görevi belli olmayan iki çeşit işçi arı vardır. Bu arılar yiyecek toplanabilecek kaynakları arama eğilimindedirler. Bunlar rastgele kaynak arayan kaşif arılar, kovanda bekleyen ve görevli arıları izleyerek bu arılar tarafından gelen bilgiye göre yeni kaynaklara yönelen gözcü arılardır. Arılar arasında bilgi paylaşımı arıların yapmış olduğu dansla (waggle dance) olmaktadır. Paylaşılan bilgi ile kaliteli yeni yiyecek kaynakları keşfedilir. Yapay arı kolonisi algoritması; yiyecek kaynağı katsayılarına, yiyecek miktarı ise amaç fonksiyonun değerine benzetilerek oluşturulur. Yöntemde her yiyecek kaynağı için bir işçi bir tane de gözcü arı görevlendirilir. Bu sebeple işçi arı sayısı ile gözcü arı sayısı birbirine eşittir.



Şekil 3.2. ABC algoritması akış şeması

ABC’de arama uzayı, yiyecek kaynaklarını içeren kovanın çevresini temsil etmektedir. Algoritma ilk olarak arama uzayındaki çözümlere karşılık gelen gelişigüzel yiyecek kaynakları yerleri üretmektedir. Bu yerler her bir parametrenin alt ve üst sınırları arasında rastgele değer üretilerek oluşturulmaktadır. Aynı zamanda oluşturulan her bir kaynağın geliştirilememe sayaçları da sıfırlanmaktadır. Bu aşamadan sonra durdurma kriteri sağlanıncaya kadar yiyecek kaynakları görevli arı, kaşif arı ve gözcü arı süreçlerinden geçirilerek daha iyisi bulunmaya çalışılmaktadır.

Gözcü arılar danslardan öğrendikleri bilgilerle nektar miktarlarına göre bir kaynak seçmekte ve nektar miktarı uygunluk değerine karşılık gelmektedir. Yiyecek kaynağının bir gözcü arı tarafından seçilme olasılığı rulet tekerleği yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bir kaynağın uygunluk değeri arttıkça, bu kaynak bölgesini seçecek gözcü arı sayısı da artmaktadır. Gözcü arılar daha iyi kaynağı bulabilmek için bir seçim yapmaktadırlar. Eski kaynak ile yeni kaynak arasında karşılaştırma yapıldığında eğer eski kaynak daha iyi ise bu çözüm saklanmaktadır ve geliştirilememe sayacı bir artırılmaktadır. Aksi halde yeni çözüm saklanmaktadır ve geliştirilememe sayacı sıfırlanmaktadır. Bütün gözcü arılar yiyecek kaynaklarına dağılıncaya kadar bu işlemler devam etmektedir (Karaboğa, 2011; Ning, Zhang, 2011). Geliştirilememe sayacı kontrol edilerek, bir kaynağın tükenip tükenmediğine bakıldığında eğer yiyecek kaynağı tükenmişse kaynağın görevli arısının yeni bir kaynak araması gerekmektedir. Böylece görevli arı kaşif arı olmakta ve bu arı için gelişigüzel çözüm arama süreci başlamaktadır. Temel ABC’nin adımları aşağıdaki gibidir

**Adım 1:** Denklem 3.5 ile  $x_{ij}$ ,  $i=1, \dots, N, j=1..M$ , çözümlerine başlangıç değerlerini hata ve geliştirilememe sayaçlarını ( $hata_i$ ) sıfırla. Uygunluk değerlerini hesapla. N yiyecek kaynağı sayısı ve M optimize edilecek parametre sayısıdır.

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{maks} - x_j^{min}) \quad (3.5)$$

**Adım 2:**  $i=1$  den  $N$ ’ ye kadar Denklem 3.6’yı kullanarak  $x_i$  çözümünün görevli arısı için yeni bir kaynak üret.

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (3.6)$$

Bu işlemde üretilen  $v_{ij}$  değerinin daha önceden belirtilmiş olan alt ve üst sınırları aşması durumunda Denklem 3.7’yi kullanarak j. parametreye ait alt veya üst sınır değerlerine ötele.

$$v_{ij} = \begin{cases} x_j^{min}, & v_{ij} < x_j^{min} \\ v_{ij}, & x_j^{min} \leq v_{ij} \leq x_j^{maks} \\ x_j^{maks}, & v_{ij} > x_j^{maks} \end{cases} \quad (3.7)$$

Bu kaynağın performans değerini  $f(v_i)$  Denklem 3.8’de yerine koyarak bu çözümün uygunluk değerini hesapla.  $v_i$  ve  $x_i$  arasında seçim işlemini uygula ve daha iyi olanı seç.  $x_i$  çözümü gelişmemiş ise  $hata_i$  bir arttır.

$$uygunluk_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i), & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i), & f_i < 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

**Adım 3 :** Gözcü arıların seçim işlemi yaparken kullanacakları uygunluk değerine dayalı olasılık değerlerini Denklem 3.9'u kullanarak hesapla.

$$P_i = \frac{uygunluk_i}{\sum_{j=1}^N uygunluk_j} \quad (3.9)$$

**Adım 4 :** Rulet tekerleğine göre seçim işleminde her bir kaynak için  $[0, 1]$  aralığında üretilen pi değeri rastgele üretilen bir değerden büyükse gözcü arı için Denklem 3.6'yı kullanarak yeni bir kaynak üret ve üretilen  $v_i$  ile  $x_i$  arasında seçim işlemi uygula, daha iyi olanı seç.  $x_i$  çözümü gelişmemişse  $hata_i = hata_i + 1$ , gelişmişse  $hata_i = 0$  yap. Bu adımı tüm gözcü arılar yiyecek kaynağı bölgelerine dağılıncaya kadar tekrar et.

**Adım 5 :** Kaynağın nektarının tükenip tükenmediğini kontrol et. Eğer tükenmişse Denklem 3.5'i kullanarak rastgele üretilen yeni bir çözümle değiştir.

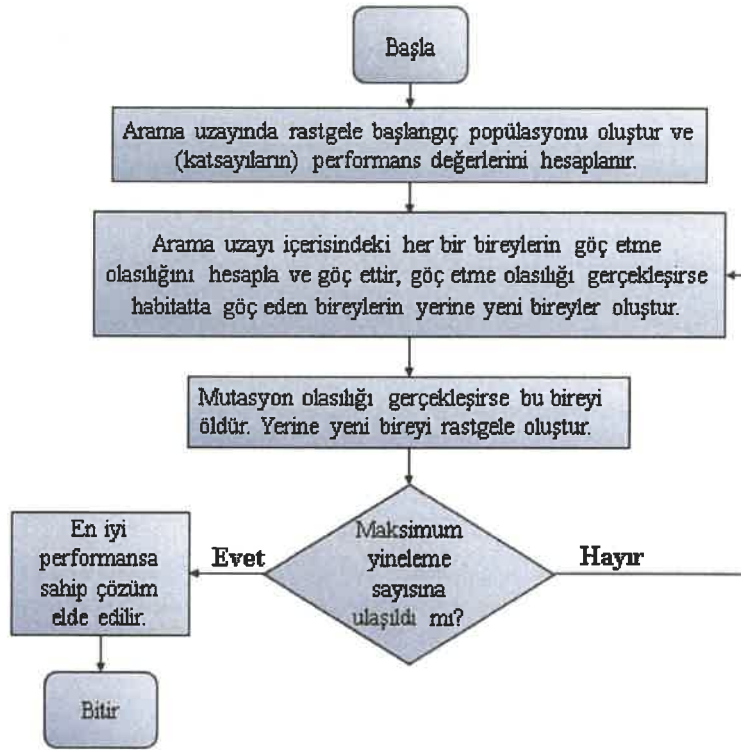
**Adım 6 :** En iyi çözümü hafızada tut.

**Adım 7 :** Sonlandırma koşullarını kontrol et. Eğer koşullar sağlanmıyorsa Adım 2'den Adım 6'ya kadar tekrar et.

Bu çalışmada oluşturulan algoritmada katsayıların  $a_1, a_2, a_3, a_4$  değerleri arıların konumlarını, hata fonksiyon modeli yiyecek kaynağını ve fonksiyon modelin performans değeri yiyecek kaynağının kalitesini temsil etmektedir. Modelin performans değeri denklem 3.4 ise amaç fonksiyonun çarpmaya göre tersidir. Algoritma durdurma kriteri sağlanana kadar tekrar eder. Durdurma kriteri bu çalışma için maksimum tekrar sayısı ile ifade edilmektedir. İşlem sonunda algoritma hafızasındaki en iyi performans değerine sahip olan çözüm en uygun çözüm olarak belirlenir. Basit şekliyle yapay arı kolonisi yönteminin algoritmasının akış şeması şekil 3.4'teki gibi gösterilmektedir.

### 3.3.2.2. Biyocoğrafya yöntemi

Biyo coğrafya yöntemi Simon (2008) tarafından habitat içindeki canlıların göç etme, habitatların göç alma ilkelerinden esinlenerek geliştirilmiş biyolojik çeşitlilik ve popülasyon tabanlı sezgisel bir yöntemdir. Bu yöntemde her bir birey içinde bulunduğu habitatın uygunluk durumuna göre bir göç etme olasılığı hesaplanmaktadır. Bu göç etme olasılığına göre bireyler göç etmektedir. Biyocoğrafya algoritmasında göç etmenin karşılığı yeni katsayıların bulunması anlamına gelmektedir. Ayrıca biyocoğrafya yönteminde habitatın mutasyona uğrama olasılığı vardır. Bu olasılık gerçekleştiğinde yani bireyler mutasyona uğradığında, biyocoğrafya yönteminde elde edilmiş katsayılar grubunun bazılarının yok edilmesiyle yerine yeni katsayılar rastgele oluşturulmaktadır.



Şekil 3.3. BBO algoritması akış şeması

Tez çalışmasında, habitat aday çözüm modelini temsil etmektedir. Çözüm modelindeki katsayı değerleri habitatteki bireylere karşılık gelmektedir. Habitatlar arası göç alma göç verme işlemleri çözümün güncellenmesi/değişmesi anlamına gelmektedir. Mutasyona uğraması işlemi ise çözümdeki herhangi bir değer kaldırılıp yerine rasgele bulunan değer atanması demektir. Bu tez çalışmasında her bir ada çözümü yani  $a_1, a_2, a_3, a_4$  katsayılarını bu adalara habitat içerisindeki canlıların göç alma ve göç verme durumu ise hata fonksiyonu için performans değerini temsil etmektedir. Her bir iterasyonda yaşam kalitesi en iyi olan adayı bulmak için göç alma ve göç verme olasılıkları karşılaştırılır. Mutasyona uğrayan türlere göre performans değerleri karşılaştırılmaktadır. Bu bilgiler etrafında genel haliyle biyocoğrafya yönteminin akış diyagramı şekil 3.3'teki gibi gösterilmektedir.

Biyocoğrafya doğadaki türlerin dağılımını üzerine oluşturulan bir çalışma olmaktadır. Olası her çözüm bir ada olarak kabul edilmektedir. Uygunluk endeksi değişkenleri (SIV) adı verilen yaşanabilirliğin karakterize edildiği özellikleri içermektedir. Her çözümün özüne kendi yaşam uygunluğu endeksi (HIS) adı verilmektedir. BBO'da, bir yaşam ortamı  $H$ , rastgele başlatılan  $N$ 'nin (SIVs) bir vektörü olarak kabul edilmektedir. Ayrıca hedefe ulaşmak için asgari göç ve mutasyon adımı takip edilmektedir. Göçteki bilgi her çözümün göç oranları  $\mu$  ve göçmenlik oranları  $\lambda$ 'ya bağlı olan yaşam ortamları arasında paylaşılmaktadır. Her çözüm, kullanıcı tanımlı bir parametre olan  $P_{mod}$  olasılığına bağlı şekilde yenilenmektedir. Her bir bireyde  $\lambda$  ve  $\mu$  mevcuttur ve doğal ortamı içinde  $K$  türlerinin sayısının bir fonksiyonu olup Denklem 3.10 ve 3.11 ile ifade edilmektedir.

$$\lambda = \frac{EK}{P} \quad (3.10)$$

$$\mu = I \left(1 - \frac{K}{P}\right) \quad (3.11)$$

E: Maksimum  $\lambda$ , I: Maksimum  $\mu$  ve P: Popülasyon boyutu olmaktadır.

Göçmenlik ve göç eğrileri E: I durumu için düz çizgilerdir. Daha fazla tür ile yaşam ortamı (yüksek HIS, iyi çözüm) yüksek  $\mu$  ve düşük  $\lambda$ 'ya sahip iken, birkaç tür ile yaşam ortamı (düşük HIS, zayıf çözüm) düşük  $\mu$  ve yüksek  $\lambda$ 'ya sahip olmaktadır. Zayıf çözümler algoritma sömürü yeteneğini geliştiren iyi çözümden daha yararlı bilgileri kabul etmektedir. Göç algoritması aşağıdaki gibi kısaca gösterilmektedir.

```
- $\alpha$ ,  $\lambda_i$  olasılığı ile  $H_i$  seçilir
-If  $H_i$ 
-For  $j = 1$  to  $P$ 
- $\alpha$ ,  $\mu_i$  olasılığı ile  $H_j$  seçilir
-If  $H_j$ 
- $H_j$ 'den SIV için rastgele bir  $\sigma$  seç
- $\sigma$  ile  $H_i$  de rastgele bir SIV'ı değiştir
-end if
-end for
-end if
```

$$m(s) = P_{mutate} \left(1 - \frac{P_i}{P_{max}}\right) \quad (3.12)$$

BBO'da, mutasyon iyi çözümler edinmek ve popülasyonun çeşitliliğinin artırılması amacıyla kullanılmıştır. Mutasyon operatörü E: I durumu için  $m$  tabanlı mutasyon oranı ile rastgele bir yaşam kullanıcısının SIV'ını değiştirmektedir. Mutasyon oranı  $m$  aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

```
-Burada,  $P_{mutate}$  kullanıcı tanımlı bir parametredir ve  $P_{max} = \arg_{max} P_i$ ,  $i = 1, \dots, p$ .
-Mutasyon algoritması aşağıdaki gibi tanımlanır.
-For  $j = 1$  to  $N$ 
- $P_i$  olasılığını hesaplamak için  $\lambda_i$  ve  $\mu_i$  kullan
- $\alpha$   $P_i$  olasılığı ile SIV  $H_i(j)$  seçilir
-If  $H_i(j)$ 
-Rastgele üretilen SIV ile  $H_i(j)$ 'yi yer değiştir
-end if
-end for
```

BBO Algoritması aşağıdaki gibi tanımlanır:

Başlangıç Parametreleri:

P: Popülasyon boyutu

G: Maksimum nesil sayısı

Keep: Elitizm parametresi

$P_{mod}$ : Ada modifikasyon olasılığı

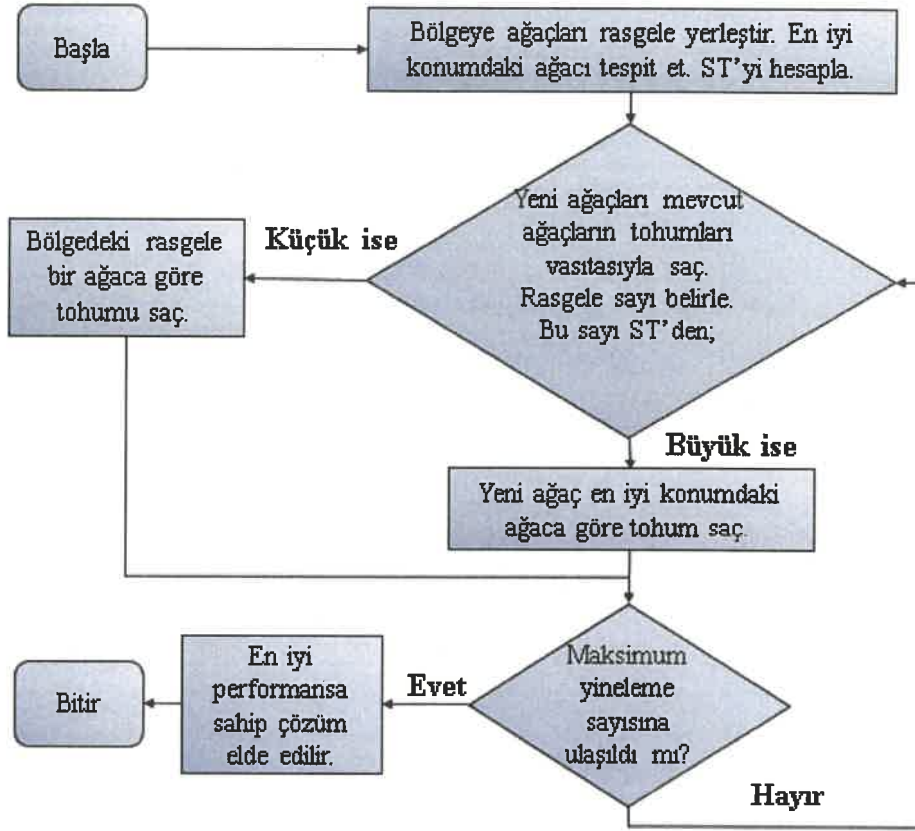
- Adım 1: Olası her bir yaşam türü sayısı ve rastgele bir başlangıç popülasyonunun sayısı.
- Adım 2: Popülasyondaki her bir birey için uygunluğun denetlenmesi.
- Adım 3: Sonlandırma kriterinin karşılanmadığı durumda. (While)
- Adım 4: Geçici bir dizideki en iyi yaşam kaydedilir.
- Adım 5: Her bir yaşam için,  $S$ ,  $\lambda$  ve  $\mu$  türlerinin sayısı HSI ile eşleştirilir.
- Adım 6: Göç oranlarına dayanarak olasılıksal bir göçmen adası seçilir.
- Adım 7: 6. Adımda seçilen adaya dayalı rastgele seçilen SIV'ları göç ettirilir.
- Adım 8: Her mutasyon algoritması başına düşen popülasyonun en kötü yarısı değiştirilir.
- Adım 9: Popülasyondaki her bir birey için uygunluğun denetlenmesi.
- Adım 10: En iyiden en kötüye popülasyon sıralanır.
- Adım 11:  $G = G + 1$
- Adım 12: Döngü sonu.

### 3.3.2.3. Ağaç tohum yöntemi

Ağaç tohum yöntemi Kiran (2015) tarafından ağaçların tohumları vasıtasıyla yayılması ve nesillerini devam ettirmesi ilkesinden yararlanılarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntemde ağaçlar arama (yayılma) eğilimi katsayına (ST) bağlı olarak en iyi konumdaki ağaca göre veya bölge içerisindeki rastgele bir ağaca göre tohumlarını saçar. Saçılan tohumlar ile yeni ağaçlar (katsayılar) oluşur. Ağaçların ve tohumların üretildiği alan optimizasyon problemine karşılık geldiğinde ağaç ve tohumları lokasyonu ise bu problemin çözümüne karşılık gelmektedir. Rastgele olarak dağılmış ağaçların tohumları çözüm alanının incelenmesini sağlar. Her bir ağaç ve ürettiği tohumların performansları ile karşılaştırıldığında tohum üretilen ağaçtan daha iyi bir performansla sahip ise o tohum artık bir ağaç olur ve üretilmiş olduğu ağacın yerine seçilir. Belirlenen iterasyon tamamlandığında en iyi performansla sahip çözümler elde edilir.

Yöntemde ağaçlar aday çözümleri, ağaçların konumları aday çözümlerin katsayılarını temsil etmektedir. Bu tez çalışmasında her bir tohum  $a_1, a_2, a_3, a_4$  katsayı çözümlerini, tohumların lokasyonu ise hata fonksiyonunun performansını temsil etmektedir. Ağaçlardan saçılan tohumlar başlangıçta rastgele veya ağaç saçılma katsayısına bağlı olarak saçılmaktadır. Bu saçılan tohumların her bir iterasyonda en iyi lokasyona bağlı olarak çözüm üretilmektedir. En genel hali ile Ağaç tohum yönteminin algoritması Şekil 3.4' gösterilebilir.

Her ağacın tohum sayısı rastgele olarak belirlenmiştir. Tohum üretmek için iki farklı denklem kullanılabilir. Araştırma eğilimi (ST) parametresi ise tohum oluşumu sırasında bu denklemlerden hangisinin seçileceğini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Araştırmanın popülasyondan seçilen tohumun lokasyonunu belirlemede en iyi ve rastgele seçilen ağaçların etkilerini belirlemek için kullanılmıştır.



Şekil 3.4. TSA algoritması akış şeması

Tohum oluşumu sırasında araştırma eğilimi parametresine göre Denklem 3.13 ve 3.14 eşitlikleri kullanılır. Algoritmanın parametresi olan ST 0-1 arasında bir sayı olarak başlangıçta belirlenir. 0-1 arasında üretilen rastgele bir sayı eğer araştırma eğilimi parametresinden küçükse Denklem 3.13, büyükse Denklem 3.14, uygulanır. Araştırma eğilimi parametresi büyüdükçe faydalanma ve hızlı yakınsama sağlanırken, küçüldükçe yavaş yakınsama ve keşfetme sağlanmış olur. Algoritmanın keşif ve faydalanma kapasitesi araştırma eğilimi parametresi ile kontrol edilebilmektedir.

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (B_j - T_{r,j}) \quad (3.13)$$

Burada  $S_{i,j}$  i. tohumun j.boyutunu (i. ağaç için üretilmektedir),  $T_{i,j}$  i.ağacın, j.boyutunu,  $\alpha_{i,j}$  -1,1 arasında üretilen ölçekleme parametresi,  $B_j$  şimdiye kadar elde edilen en iyi ağacın j.boyutunu,  $T_{r,j}$  r.ağacın j.boyutunu; r rastgele seçilen i'den farklı bir ağaç olmaktadır.

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (T_{i,j} - T_{r,j}) \quad (3.14)$$

Başlangıçta çözülecek optimizasyon probleminin sınırları içerisinde rastgele ağaçlar Denklem 3.15'e göre oluşturulmuştur.



$$T_{i,j} = L_{j,min} + r_{i,j}(H_{j,max} - L_{j,min}) \quad (3.15)$$

Burada  $L_{j,min}$  arama uzayının alt sınırını (j.parametre için),  $H_{j,max}$  ise arama uzayının üst sınırını,  $r_{i,j}$  0-1 arasında üretilen rastgele sayıyı (i.ağacın j.parametresi için) göstermektedir.

Minimizasyon problemleri için en iyi çözüm Denklem 3.16'da gösterildiği üzere tüm ağaçların fonksiyon değerleri hesaplanarak elde edilmektedir.

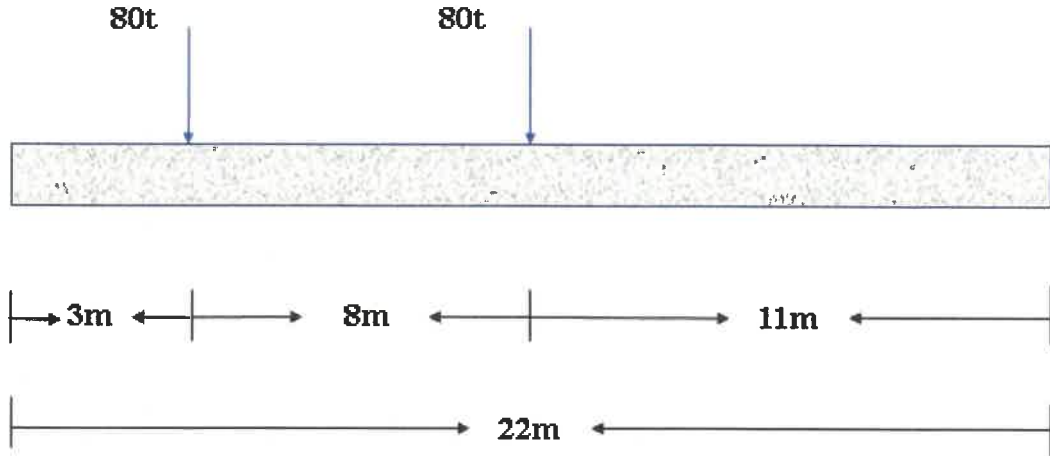
$$B = ArgMin\{f(\bar{T}_i)\} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.16)$$

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında geliştirilen algoritmanın ve optimizasyon yöntemlerinin kontrolü için iki adet sürekli temel örneği üzerinde çalışılmıştır. Örneklerde ilk olarak algoritma vasıtasıyla tekrar gerilme dağılımı yapılmadan taban gerilmeleri elde edilmiştir. Bu değerler referans verileri ve sonlu elemanlar verileri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra negatif gerilmeler oluşmayacak şekilde gerilme dağılımı tekrar yapılarak ilk aşamadaki maksimum gerilmeler arasındaki farklılıklar araştırılmıştır. Çalışılan örnekler hakkında detaylı bilgi aşağıda gösterilmiştir.

##### Örnek 4.1.a:

Bir örnek problemde (Keskinel1967) uzunluğu  $l = 22 \text{ m}$ , eğilme rijitliği  $EI = 1.89 \times 10^6 \text{ tm}^2$ , taban genişliği  $b = 1.73 \text{ m}$  olan bir sürekli temel kirişine etkiyen dış yükler şekil 4.1'te gösterilmiş ve zemin yatak katsayısı  $K_0 = 4000 \text{ t/m}^2$  olduğuna göre başlangıç noktasındaki zemin gerilmesini ve zemin gerilme dağılımı aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1. Sürekli temel 4.1a örneği

Öncelikle bu çalışmada büyük dış merkezli elastik sürekli temellerin üzerinde çalıştığımızı göstermek için eksantrisitenin kontrolü yapılmalıdır. Bu kontrol eksantrisitenin çekirdek konumuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Çekirdek bölgesi sınırı  $L/6$  olarak alınır ve çekirdek kontrolü için temelin ağırlık merkezine göre eksantrisitesi hesaplanır. Eksantrisite çekirdek sınırı olan  $L/6$  ile karşılaştırıldığında konumu çekirdek dışında olduğu görülmektedir (Denklem 4.1).

$$e = \frac{\sum M}{\sum P} = \frac{80 \times 8 \text{ t.m}}{80 \text{ t} + 80 \text{ t}} = 4 ; e > \frac{L}{6} = \frac{22}{6} = 3.667 \quad (4.1)$$

Elastik sürekli temel için öncelikle temel uzunluğu birim genişliğindeki yatak katsayısı ile  $\lambda$  değeri hesaplanır (Denklem 4.2).

$$K = K_0 b = 4000 \times 1.73 = 6.92 \times 10^3 t/m^2$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{6.92 \times 10^3}{4 \times 1.89 \times 10^6}} = 0.174 m^{-1} \quad (4.2)$$

$$\lambda l = 0.174 \times 22 = 3.8$$

Referans alınan örneğin çözümü için bağıl rijidliğine bağlı ilgili tabloları kullanılarak (Keskinel1967) kullanılarak analiz edilir. Bağıl rijidliği 3.8 ve zemin gerilmesi için kullanılacak tablo ( $\xi_{YP}$ ) için  $a_1/l = 3/22 = 0.136$  ve  $a_2/l = 11/22 = 0.5$  kullanılmaktadır. Başlangıç noktasına göre hesaplanan mesafe değeri  $x/l = 0.0$  'dır. Etki eden her bir yük için zemin gerilmesi değeri denklem 4.3'teki gibi gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} \sigma_z(x) &= K_0 \frac{Pl^3}{4EI} (\xi_{YP1} + \xi_{YP2}) \\ &= 4000 \frac{80 \times 22^3}{4 \times 1.98 \times 10^6} \times (0.019262 - 0.001854) \\ &= 7.84 t/m^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Zemin gerilmesi ( $\sigma_z(x)$ ) Denklem 4.4 kullanılarak her bir birim noktası analiz edilerek dağılım elde edilmektedir. Zemin gerilmesi dağılımı her bir hesaplanan nokta için x mesafe değeri kullanılmaktadır. Bu örnek için başlangıç noktasına göre hesabı yapılmakta ve başlangıç noktası için değeri kullanılmaktadır. Elastik analizde detaylı olarak elde edilen denklemler kullanılarak her bir yük ve her bir moment için ayrı ayrı hesaplanır. Her bir nokta için elle hesap zor olacağından dolayı zemin gerilmesi dağılımı bilgisayar programı yardımı ile zemin gerilme dağılımı oluşturulmaktadır.

$$\begin{aligned} \sigma_z(x) &= K_0 \cdot \left( y_0 F_1(\lambda x) + \left(\frac{1}{\lambda}\right) \theta_0 F_2(\lambda x) - \left(\frac{1}{\lambda^2 EI}\right) M_0 F_3(\lambda x) \right. \\ &\quad + \sum_{i=1}^{N_M} \left(\frac{1}{\lambda^2 EI}\right) M_i F_3[\lambda(x - U_{M,i})] \\ &\quad \left. + \sum_{i=1}^{N_P} \left(\frac{1}{\lambda^3 EI}\right) P_i F_4[\lambda(x - U_{P,i})] - \left(\frac{1}{\lambda^3 EI}\right) Q_0 F_4(\lambda x) \right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Bu örnekte başlangıç noktası için çökme  $y_0$  ve dönme değerleri hesaplanır. Başlangıç noktası için moment ( $M(0) = 0$ ) ve kesme kuvveti ( $Q(0) = 0$ ) değerleri zemin gerilmesinde kullanıldığında Denklem 4.5'teki matris elde edilir.

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{K}{\lambda^2} F_3(\lambda l) & \frac{K}{\lambda^3} F_4(\lambda l) \\ \frac{K}{\lambda} F_2(\lambda l) & \frac{K}{\lambda^2} F_3(\lambda l) \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} F_2(\lambda(l-x)) \frac{P}{\lambda} \\ F_1(\lambda(l-x)) P \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Başlangıç noktası  $x=0$  için hesaplanan dönme ve çökme değerleri aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1660163.00120691 & 1063977.50404050 \\ -642461.842684588 & -1660163.00120691 \end{bmatrix}^{-1} \\ \times \begin{bmatrix} -3596.57992965377 \\ -1076.72200261286 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00206893165655606 \\ -0.000152086055202451 \end{bmatrix}$$

Hesaplanan dönme ve çökme değerleri öncelikle başlangıç noktasına uzaklığı 3m'de etki eden yük için ( $P=80t$ ) başlangıç noktasındaki ( $x=0$ ) zemin gerilmesi değeri hesaplanır (denklem 4.6). Süperpoze olarak analiz edildiğinde etki tek bir yük için 2 koşula bağlı olarak denklemler oluşturulmaktadır (denklem 4.6).

$$x < mes \text{ için } \sigma_z(x) = K_0 \cdot \left( y_0 F_1(\lambda x) + \left( \frac{1}{\lambda} \right) \theta_0 F_2(\lambda x) \right)$$

$x > mes$  için

$$\sigma_z(x) = K_0 \left( y_0 F_1(\lambda x) + \left( \frac{1}{\lambda} \right) \theta_0 F_2(\lambda x) + \sum_{i=1}^{N_p} \left( \frac{1}{\lambda^3 EI} \right) P_i F_4[\lambda(x - mes)] \right. \\ \left. - \left( \frac{1}{\lambda^3 EI} \right) Q_0 F_4(\lambda x) \right) \quad (4.6)$$

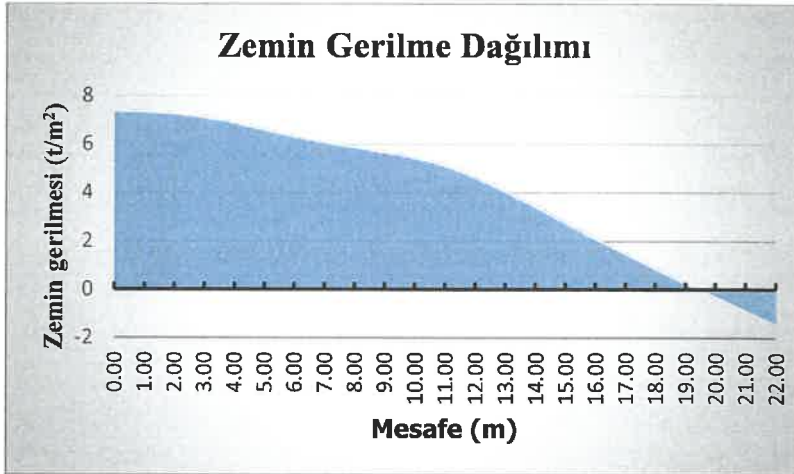
$X=0$  noktasında  $P=80t$  mesafe 3m için  $x < mes$  koşuluna göre zemin gerilmesi  $\sigma_{z,1}(x) = 4000 \times (0.00206893165655606 \times 1 + (0.173938641870392)^{-1} \times (-0.000152086055202451) \times 0) = 8.27572662622423 \text{ t/m}^2$   
 $X=0$  noktasında  $P=80t$  başlangıç noktasına uzaklığı 11m için dönme ve çökme değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1660163.00120691 & 1063977.50404050 \\ -642461.842684588 & -1660163.00120691 \end{bmatrix}^{-1} \\ \times \begin{bmatrix} 493.8347767029707 \\ -93.0113963406322 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.000209577261155698 \\ 0.000137129179220359 \end{bmatrix}$$

Hesaplanan dönme ve çökme değeri  $x < mes$  ( $0 < 11$ ) koşuluna göre zemin gerilmesi için kullanılmaktadır.

$$\sigma_{z,2}(x) = 4000 \\ \times ((-0.000209577261155698) \times 1 \\ + (0.173938641870392)^{-1} \times 0.000137129179220359 \times 0) \\ = -0.838309044622794 \text{ t/m}^2$$

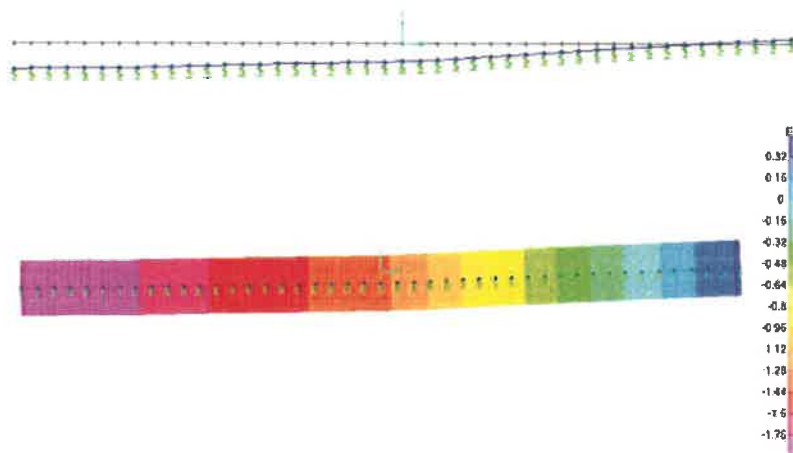
Sonuç olarak başlangıç noktasındaki zemin gerilmesi  $\sigma_{z,1}(x) + \sigma_{z,2}(x) = 7.437417581601436 \text{ t/m}^2$  olmaktadır. Bu hesaplama yöntemiyle (Hetenyi1946) geliştirilen yazılım sayesinde elde edilen veriler yardımıyla temeldeki zemin gerilme dağılımı gözlemlenmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Sürekli temel 4.1a örneği zemin gerilme dağılımı negatif gerilme dağılımdan

Kullanılan hesaplama yöntemin doğru çalışmasını kontrol etmek amacıyla sap2000'de analizi yapılır. Bu analiz sonucu oluşan deformasyonu şekil 4.3'de gözlemlenmektedir. Analizi için 0.5m yay aralıkları kullanılır. Referans aldığımız başlangıç noktasına göre zemin gerilmesi kontrolü için çökme ( $U_z$ ) değeri birim genişlikteki yatak katsayısı ve yay aralığı ile çarpılır. Elde edilen bu değer temel genişliği ve yay aralığına bölünerek zemin gerilmesi değeri hesaplanır (denklem 4.7). Bu hesaba göre kontrol edildiğinde kullandığımız yöntem doğru olduğu anlaşılmaktadır.

$$\sigma_z(x) = \frac{K \times 0.5}{b \times 0.5} \times U_z = \frac{6920 \times 0.5}{1.73 \times 0.5} \times 0.00185 = 7.4 \text{ t/m}^2 \quad (4.7)$$



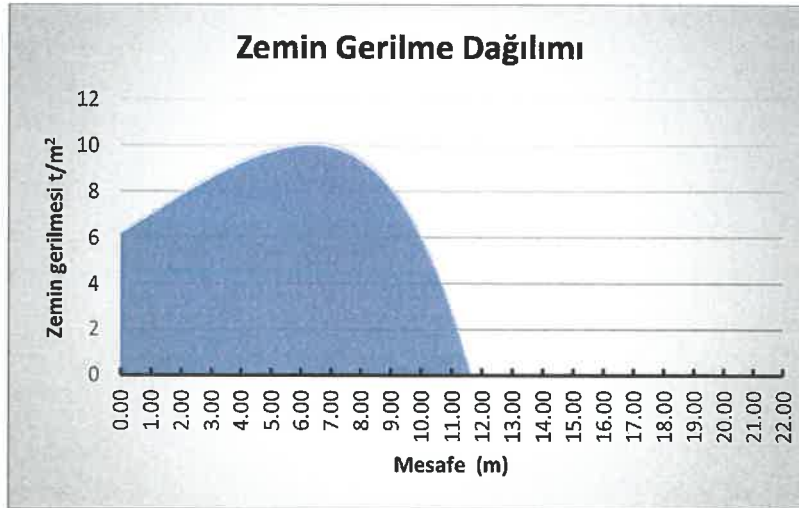
Şekil 4.3. Sürekli temel 4.1a örneği için SAP 2000 kullanılarak elde edilen deformasyonu

Geliştirilen yazılımın uygun katsayıların ABC, BBO, TSA optimizasyon yöntemleri yardımıyla negatif gerilme dağılımı yapılmasıdır. Bu dağılım kullanılarak hesaplanan kuvvet, moment değerleri ile ve gerçek kuvvet, moment değerleri amaç fonksiyonunu minimize etmeyi sağlamaktadır. Bu yazılımda elde zemin gerilmesi kullanılarak edilen katsayı değerleri hata değerinin elde edilmesi için kullanılmaktadır. Hata değeri için denklem 3.4 kullanılmaktadır.

ABC yöntemi için  $a_1 = 0.8370, a_2 = 0.4990, a_3 = 0.4990, a_4 = 0.3590$  değerleri elde edilmektedir. Bu yöntem için hesaplanan toplam kuvvet  $\sum F^* = 160.5157 t$ , toplam moment  $\sum M^* = 879.8436 t.m$  elde edilmektedir. Hata  $\sum Hata = 0.0034$  değeri elde edilir.

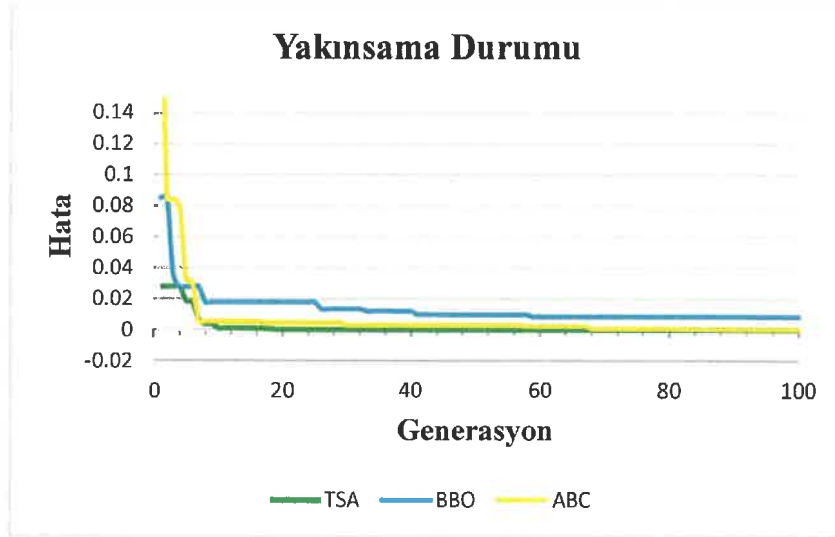
BBO yöntemi için  $a_1 = 2.807, a_2 = 3.719, a_3 = 3.851, a_4 = 1.418$  değerleri elde edilmektedir. Bu yöntem için hesaplanan toplam kuvvet  $\sum F^* = 161.5045 t$ , toplam moment  $\sum M^* = 883.6173 t.m$  elde edilmektedir. Hata  $\sum Hata = 0.0135$  değeri elde edilir.

TSA yöntemi için  $a_1 = 0.859, a_2 = 0.494, a_3 = 0.587, a_4 = 0.247$  değerleri elde edilmektedir. Başlangıç noktasına göre toplam kuvvet, toplam moment  $\sum F = 160t$ ;  $\sum M = 880t.m$  değerli hesaplanan toplam kuvvet, toplam moment  $\sum F^* = 159.994 t$ ;  $\sum M^* = 879.9877t.m$  birbirine çok yakın değerler olmaktadır.  $\sum Hata = 0.0001$  değeri elde edilir. Hata değeri neredeyse sıfır olduğu gözlemlenmektedir. TSA yani ağaç tohum yöntemi ile en iyi performans elde edilmektedir. En iyi performansı sağlayan ağaç tohum yönteminin zemin gerilme dağılım grafiği gösterilmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. 4.1a örneği için TSA yöntemi ile elde edilen zemin gerilme dağılımı

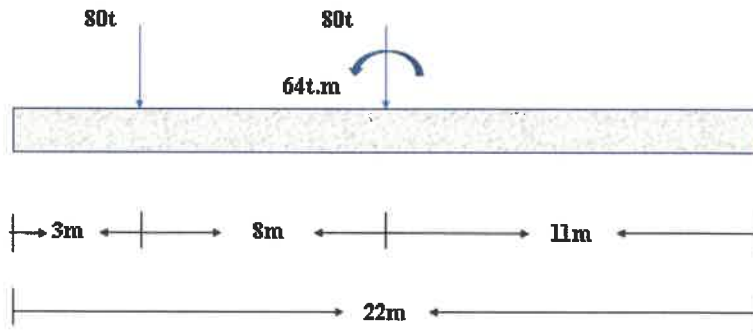
Örneğimiz için her 3 optimizasyon yönteminde arama geçmişlerini incelediğimizde BBO'nun ABC yönteminden daha iyi yakınsadığını ancak jenerasyon arttıkça ABC daha hızlı olduğu görülmektedir. Diğer yöntemlere göre en iyi yakınsamayı TSA yönteminin sağladığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.5. Sürekli temelde 4.1a örneği için yakınsama durumu

#### Örnek 4.1.b:

Aynı örneğe ilave moment ekleyerek analizi yapılmıştır. Bir önceki örnekte yükler hesaplandığından dolayı moment için zemin gerilmesi hesabı yapılır. Bu gerilme bir önceki soruda hesaplanmış zemin gerilmelerine eklenir. Örneğimizin kuvvet ve moment yükleme durumu Şekil 4.5'te gözlemlenmektedir.



Şekil 4.6. Sürekli temel 4.1b örneği kuvvet ve moment girdileri

$$\text{Eksantrisitesi } e = \frac{\sum M}{\sum P} = \frac{80 \times 8 + 64 \text{ t.m}}{80t + 80t} = 4.4 > 3.667 \text{ hesaplanır ve karşılaştırılır.}$$

Bu örneğin analizinde ilk olarak bağıl rijidliğine bağlı ilgili tabloları (Keskinel1967) kullanarak kullanarak analiz edilir. Bağıl rijidliği 3.8 ve zemin gerilmesi için ilgili tablo ( $\xi_{YP}, \xi_{YM}$ ) moment noktası için  $a_1/l = 11/22 = 0.5$  kullanılmaktadır. Başlangıç noktasına göre hesaplanan mesafe değeri  $x/l = 0.0$ 'dır. Etki eden her bir yük için zemin gerilmesi değeri denklem 4.8'deki gibi gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
\sigma_z(x) &= K_0 \frac{Pl^3}{4EI} (\xi_{YP1} + \xi_{YP2}) + K_0 \frac{Ml^2}{2EI} (\xi_{YM1}) \\
&= 7.84 + 4000 \frac{64 \times 22^2}{2 \times 1.98 \times 10^6} (0.006571) = 7.84 + 0.205 \\
&= 8.045 \text{ t/m}^2
\end{aligned} \tag{4.8}$$

Bu örnekte başlangıç noktası moment ( $M(0) = 0$ ) ve kesme kuvveti ( $Q(0) = 0$ ) değerleri zemin gerilmesinde kullanılarak çökme ve dönme denklemi oluşturulur (Denklem 4.9).

Bu hesaplama için kullanılacak olan matris çarpanları denklem 4.8'de gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{K}{\lambda^2} F_3(\lambda l) & \frac{K}{\lambda^3} F_4(\lambda l) \\ \frac{K}{\lambda} F_2(\lambda l) & \frac{K}{\lambda^2} F_3(\lambda l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -M \cdot F_1(\lambda(l-x)) \\ 4 \cdot \lambda \cdot M \cdot F_4(\lambda(l-x)) P \end{bmatrix} \tag{4.9}$$

Verileri yerlerine yazıldığında yani  $x=0$ ,  $11\text{m}$  mesafesinde  $M=64\text{tm}$ ,  $l=22\text{m}$  ve hesaplanmış  $\lambda$ ,  $K$ , değerleri kullanılarak dönme ve çökme değerleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1660163.00120691 & 1063977.50404050 \\ -642461.842684588 & -1660163.00120691 \end{bmatrix}^{-1} \\
\times \begin{bmatrix} -74.4091170725057 \\ -48.6868713447105 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0000509732494331146 \\ 0.00000960056547140459 \end{bmatrix}$$

Moment etkisinde zemin gerilmesini bulmak için 2 koşul olarak parçalanmaktadır (Denklem 4.13).

$$x < \text{mes için } \sigma_z(x) = K_0 \cdot \left( y_0 F_1(\lambda x) + \left( \frac{1}{\lambda} \right) \theta_0 F_2(\lambda x) \right)$$

$x > \text{mes için}$

$$\begin{aligned}
\sigma_z(x) &= K_0 \left( y_0 F_1(\lambda x) + \left( \frac{1}{\lambda} \right) \theta_0 F_2(\lambda x) - \left( \frac{1}{\lambda^2 EI} \right) M_0 F_3(\lambda x) \right. \\
&\quad \left. + \sum_{i=1}^{N_M} \left( \frac{1}{\lambda^2 EI} \right) M_i F_3[\lambda(x - U_{M,i})] \right)
\end{aligned} \tag{4.10}$$

$X=0$  noktasında  $M=64\text{tm}$  mesafesinde  $11\text{m}$  için  $x < \text{mes}$  koşuluna göre zemin gerilmesi;

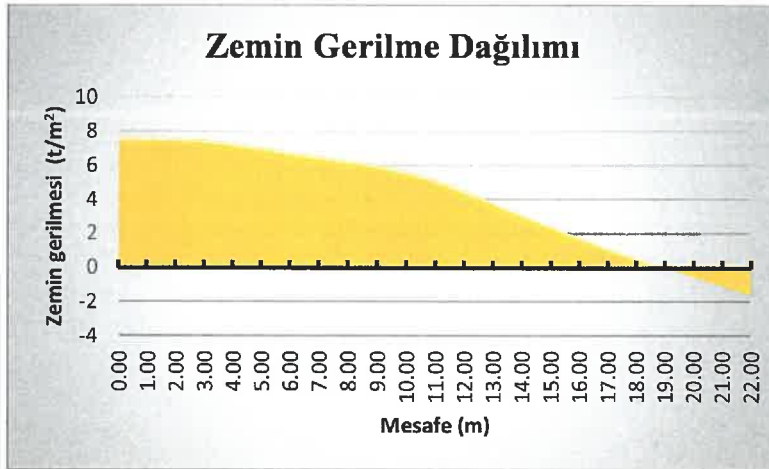


$$\sigma_{z,3}(x) = 4000 \times ((0.0000509732494331146) \times 1 + (0.173938641870392)^{-1} \times (0.00000960056547140459) \times 0) = 0.203892997732459 \text{ t/m}^2$$

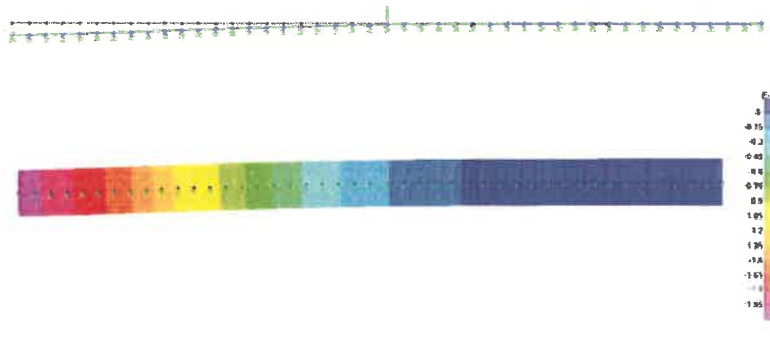
Kuvvetler için hesaplanan zemin gerilmesi ( $\sigma_{z,1}(x) + \sigma_{z,2}(x)$ ), moment etkisine göre hesaplanan zemin gerilmesi ile süperpoze edilir. Bu durumda başlangıç noktasındaki zemin gerilmesi  $\sigma_{z,1}(x) + \sigma_{z,2}(x) + \sigma_{z,3}(x) = 7.641310579 \text{ t/m}^2$  olmaktadır. Bu örnekte kod yardımıyla oluşturmuş olduğumuz zemin gerilme dağılımı Çözümleme adımlarını her bir noktası için zemin gerilmesinin dağılım alan grafiği Şekil 4.6'deki gibi gözlenmektedir.

Kullandığımız hesaplama yönteminin doğru çalıştığını kontrol etmek için SAP 2000'de analizi yapılır. Bu analiz sonucu oluşan deformasyonu Şekil 4.6'da gözlemlenmektedir. Analizi için 0.5m yay aralıkları kullanılır. Referans aldığımız başlangıç noktasına göre zemin gerilmesi kontrolü için çökme ( $U_z$ ) değeri birim genişlikteki yatak katsayısı ve yay aralığı ile çarpılır. Elde edilen bu değer temel genişliği ve yay aralığına bölünerek zemin gerilmesi değeri hesaplanır (Denklem 4.14).

$$\sigma_z(x) = \frac{K \times 0.5}{b \times 0.5} \times U_z = \frac{6920 \times 0.5}{1.73 \times 0.5} \times 0.00206 = 8.24 \text{ t/m}^2 \quad (4.14)$$



Şekil 4.7. Sürekli temel 4.1b örneği için zemin gerilme dağılımı

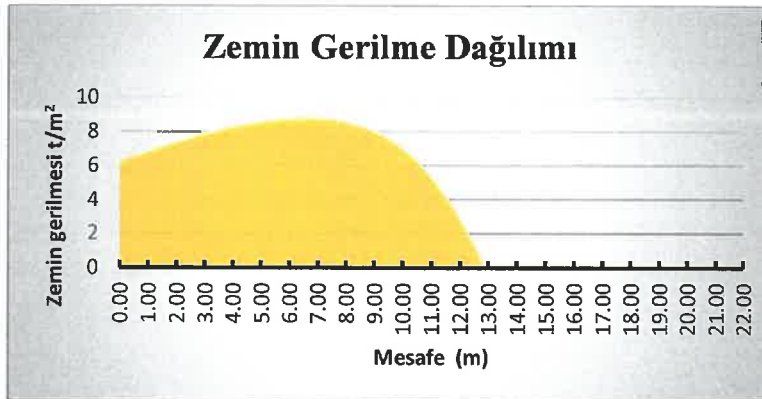


Şekil 4.8. Sürekli temel 4.1b örneği için SAP 2000 kullanılarak elde edilen deformasyonu

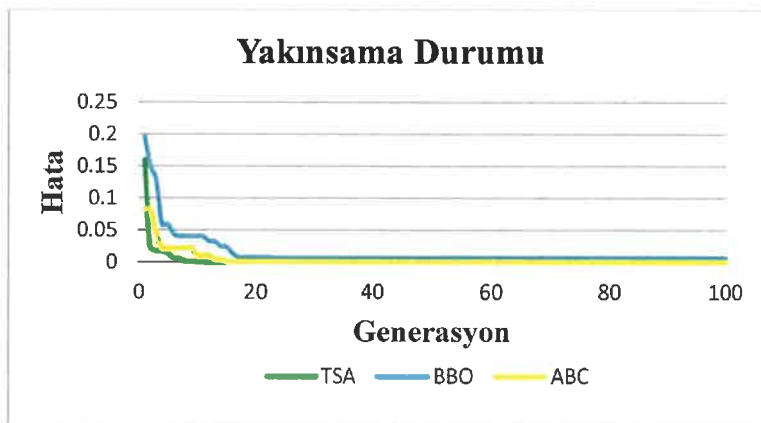
ABC yöntemi için  $a_1 = 0.874$ ,  $a_2 = 0.493$ ,  $a_3 = 0.728$ ,  $a_4 = 0.338$  değerleri elde edilmektedir. Bu yöntem için hesaplanan toplam kuvvet  $\sum F^* = 160.2094 t$ , toplam moment  $\sum M^* = 943.7211 t.m$  elde edilmektedir. Hata  $\sum Hata = 0.0016$  değeri elde edilir.

BBO yöntemi için  $a_1 = 3.7380$ ,  $a_2 = 0.4880$ ,  $a_3 = 3.9510$ ,  $a_4 = 0.0220$  değerleri elde edilmektedir. Bu yöntem için hesaplanan toplam kuvvet  $\sum F^* = 161.0358t$ , toplam moment  $\sum M^* = 943.8137t.m$  elde edilmektedir. Hata  $\sum Hata = 0.0067$  değeri elde edilir.

TSA yöntemi için materyal ve metot bölümündeki denklem 3.4 kullanılarak  $a_1 = 1.2090$ ,  $a_2 = 0.5310$ ,  $a_3 = 1.2190$ ,  $a_4 = 0.1260$  değerleri elde edilmektedir. Başlangıç noktasına göre toplam kuvvet, toplam moment  $\sum F = 160t$ ;  $\sum M = 880t.m$  değerli hesaplanan toplam kuvvet, toplam moment  $\sum F^* = 160.0002t$ ;  $\sum M^* = 943.9437 t.m$  birbirine çok yakın değerler olmaktadır.  $\sum Hata = 0.0001$  değeri elde edilir. Hata değeri neredeyse sıfır olduğu gözlemlenmektedir. TSA yani ağaç tohum yöntemi ile en iyi performans elde edilmektedir. En iyi performansı sağlayan ağaç tohum yönteminin zemin gerilme dağılım grafiği gösterilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.9. Sürekli temel 4.1b örneği için TSA yöntemi ile elde edilen zemin gerilme dağılımı



Şekil 4.10. Sürekli temelde 4.1a örneği için yakınsama durumu

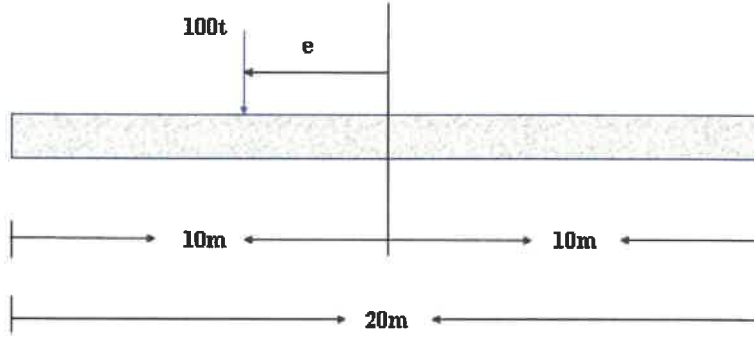
Tablo 4.1’de her iki örnekte başlangıç noktası referans alınarak zemin gerilme değerleri gösterilmektedir. Bu çalışmada yatak katsayısı yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçların diğer yöntemler ile yaklaşık olarak birine yakın olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.1.** Başlangıç noktası için zemin gerilme değerleri

$\sigma_z(0)$	Keskinel	Bu çalışma	SAP 2000
Örnek4.1a	7.8400	7.4374	7.4000
Örnek4.1b	8.0450	7.6413	8.2400

### Örnek 2:

İkinci örneğimizde büyük dışmerkezli elastik temelerde eksantrisiteye bağlı olarak hata ve maksimum zemin gerilme değerlerini karşılaştırmak için oluşturulmuştur. Örneğin parametre değerleri; temek uzunluğu  $l = 20m$ , eğilme rijitliği  $EI = 1.9 \times 10^6 tm^2$ , taban genişliği  $b = 2m$  olan bir sürekli temelin yatak katsayısı  $K_o = 5000 t/m^2$  olan farklı eksantrisite  $e = [0.2L \ 0.25L \ 0.3L \ 0.35L \ 0.4L \ 0.45L]$  değerleri için yük dağılımı şekilde gösterilmektedir. (Şekil 4.9).



**Şekil 4.11.** Sürekli temelde farklı eksantisite durumu için yükleme durumu

Her bir eksantrisite değeri ve her bir optimizasyon yöntemi için 10 farklı analiz yapılmaktadır. Farklı eksantisite değeri için kullandığımız metottan (Hetenyi) elde edilen maksimum zemin gerilme değerleri  $\sigma_z(maks)$  ile her bir optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen maksimum zemin gerilme değerleri  $\sigma_z^*(maks)$  karşılaştırılır (Çizelge 4.2; Çizelge 4.4; Çizelge 4.6). Yapılan analizlerde minimum hata değerine sahip maksimum gerilme fonksiyonları kullanılarak maksimum gerilme değerleri tabloda gözlemlenir. ABC, BBO, TSA optimizasyon yöntemi kullanılarak negatif gerilme dağılımı yapılan verilerin hata fonksiyonu ve katsayı değerleri aşağıdaki gibi gözlemlenir (Çizelge 4.3; Çizelge 4.5; Çizelge 4.7).

**Çizelge 4.2.** ABC Optimizasyon yöntemi için maksimum zemin gerilmesi

	0.2L	0.25L	0.30L	0.35L	0.40L	0.45L
$\sigma_z(maks)$	5.132742	6.0000	6.425538	9.045832	12.08392	15.46755
$\sigma_z^*(maks)$	5.870207	6.35987	6.807567	9.605968	15.96365	14.69391

**Çizelge 4.3.** ABC Optimizasyon yöntemi için hata ve katsayı değerleri

	Hata	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
0.2L	0.0004	1.158	1.139	1.667	0.507
0.25L	0.0007	1.0190	0.9500	1.2260	0.1400
0.30L	0.0020	0.6290	0.3730	0.2680	0.0100
0.35L	0.0023	1.1130	1.1270	1.2300	0.2030
0.40L	0.0029	1.2900	1.3820	1.4440	0.1420
0.45L	0.3360	0.8190	0.8390	0.8000	0.0100

Yapay arı kolonisi (ABC) optimizasyon yöntemi için maksimum gerilme değerleri karşılaştırıldığında aradaki farkın en fazla olduğu eksantrisite değeri 0.40L'dir. Bu eksantrisite değerleri için maksimum gerilme değeri farkı 3.8797 olduğu gözlemlenmektedir (Çizelge4.2).

**Çizelge 4.4.** BBO Optimizasyon yöntemi için maksimum zemin gerilmesi

	0.2L	0.25L	0.30L	0.35L	0.40L	0.45L
$\sigma_z(maks)$	5.132742	6.000000	6.425538	9.045832	12.08392	15.46755
$\sigma_z^*(maks)$	6.015219	5.774898	6.717978	10.31052	16.17106	13.69593

Biyo Coğrafya (BBO) optimizasyon yöntemi için maksimum gerilme değerleri karşılaştırıldığında aradaki farkın en fazla olduğu eksantrisite değeri 0.40L'dir. Bu eksantrisite değerleri için maksimum gerilme değeri farkı 4.0871 olduğu gözlemlenmektedir (Çizelge4.4).

Çizelge 4.5. BBO Optimizasyon yöntemi için hata ve katsayı değerleri

	Hata	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
<b>0.2L</b>	0.0004	3.1890	0.4250	2.6840	0.3880
<b>0.25L</b>	0.0007	0.8300	0.6490	0.6200	0.7490
<b>0.30L</b>	0.0022	1.4490	2.0000	3.2870	0.1120
<b>0.35L</b>	0.0066	1.0480	0.9770	0.8980	0.7741
<b>0.40L</b>	0.0037	1.6360	2.2040	2.9020	0.1070
<b>0.45L</b>	0.3562	1.2780	2.1620	3.4490	0.1000

Çizelge 4.6. TSA Optimizasyon yöntemi için maksimum zemin gerilmesi

	<b>0.2L</b>	<b>0.25L</b>	<b>0.3L</b>	<b>0.35L</b>	<b>0.40L</b>	<b>0.45L</b>
$\sigma_z(\text{maks})$	5.132742	5.379547	6.425538	9.045832	12.08392	15.46755
$\sigma_z^*(\text{maks})$	5.795961	6.12667	6.676676	9.528361	16.24600	13.74184

Çizelge 4.7. TSA Optimizasyon yöntemi için hata ve katsayı değerleri

	Hata	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
<b>0.2L</b>	0.0000	1.0070	0.6550	0.9730	0.5690
<b>0.25L</b>	0.0000	1.6160	0.1490	0.7950	0.3720
<b>0.30L</b>	0.0000	0.9370	0.8350	0.8700	0.2410
<b>0.35L</b>	0.0001	1.0160	0.9390	0.9450	0.1000
<b>0.40L</b>	0.0000	1.4580	1.7500	2.0000	0.5600
<b>0.45L</b>	0.3540	1.0630	1.4900	1.9650	0.1000

Ağaç tohum algoritması (TSA) için maksimum gerilme değerleri karşılaştırıldığında aradaki farkın en fazla olduğu eksantrisite değeri 0.40L'dir. Bu eksantrisite değerleri için maksimum gerilme değeri farkı 4.16208 olduğu gözlemlenmektedir (Çizelge 4.6).

Her optimizasyon yöntemi için 10 farklı analiz yapılarak hata fonksiyonumuzun standart sapması, aritmetik ortalaması, maksimum ve minimum değerleri gözlemlenmektedir (Çizelge 4.8; Çizelge 4.9; Çizelge 4.10; Çizelge 4.11; Çizelge 4.12; Çizelge 4.13).

0.1L-0.40L eksantrisite durumları için kullanılan optimizasyon yöntemlerde elde hata değerleri 0.0004 ile 0.0037 arasında değişmektedir. Bu sebeple bütün optimizasyon yöntemleri 0.1L-0.4L eksantrisite aralığında iyi performans sergilemiştir. Optimizasyon yöntemleri arasından ağaç tohum algoritması ile neredeyse tüm örneklerde 0.0000 hata değeri elde edilmektedir. Ağaç tohum (TSA) yöntemi seçilen optimizasyon yöntemleri arasında mevcut problem için en performans gösteren yöntemdir denilebilir.

0.45L eksantrisite durumunda hata değerlerinin 0.34-0.40(%34-%40) arasında değişmektedir. Bu hata değerlerinin fazla olması sebebiyle elde edilen gerilme değerleri ile sağlıklı yorum yapılamayacağı düşünülmektedir. Geliştirilen yazılım büyük dış merkezli elastik sürekli temellerde 0.40L eksantrisite değerine kadar uygulanabilir olduğu gözlemlenmektedir.

En iyi performansa sahip ağaç tohum (TSA) optimizasyon yöntemi ile yeniden gerilme dağılımı yapıp yapılmama durumlarına göre elde edilen maksimum gerilmeler arasında fark %12 ile %34 arasında değişmektedir. En düşük gerilme farkının 0.2L eksantrisite durumunda (%12), en büyük gerilme farkının 0.40L (%34) eksantrisite durumunda elde edildiği gözlenmektedir.

TSA yöntemi ile elde edilen optimum katsayı değerlerinin ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ) eksantrisite ( $e/L$ ) göre dağılımı Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Şekle göre katsayı değerleri ve eksantrisite değerleri arasında belirgin bir ilişki bulunamamaktadır.

**Çizelge 4.8.** Optimizasyon yöntemleri ve 0.2L eksantrisite için hata fonksiyonu

$E = 0.2 \times L$	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Maksimum	Minimum
ABC	0.000544	0.00097	0.002	0.0004
BBO	0.0030	0.1490	0.0995	0.0004
TSA	0.0001	0.0001	0.0003	0.0000

**Çizelge 4.9.** Optimizasyon yöntemleri ve 0.25L eksantrisite için hata fonksiyonu

$E = 0.25 \times L$	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Maksimum	Minimum
ABC	0.002112	0.0027	0.0075	0.0007
BBO	0.0191	0.0236	0.0607	0.0007
TSA	0.0003	0.0001	0.0010	0.0000

Çizelge 4.10. Optimizasyon yöntemleri ve 0.30L eksantrisite için hata fonksiyonu

$E = 0.30 \times L$	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Maksimum	Minimum
ABC	0.006232	0.00941	0.0186	0.002
BBO	0.0366	0.0346	0.1238	0.0022
TSA	0.0002	0.0002	0.0005	0.0000

Çizelge 4.11. Optimizasyon yöntemleri ve 0.35L eksantrisite için hata fonksiyonu

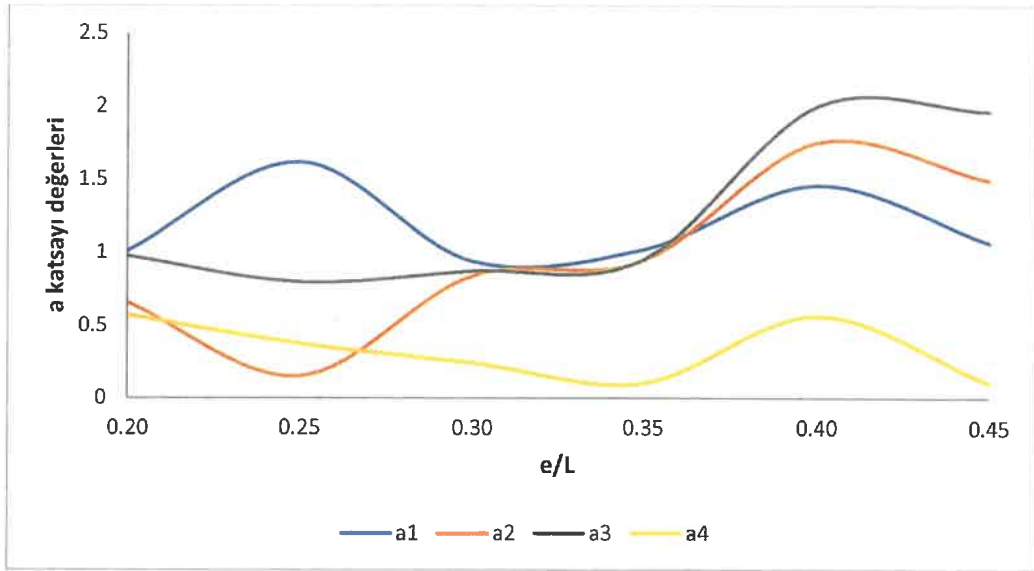
$E = 0.35 \times L$	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Maksimum	Minimum
ABC	0.011806	0.01431	0.0357	0.0023
BBO	0.0249	0.0422	0.0961	0.0066
TSA	0.0004	0.0003	0.0015	0.0001

Çizelge 4.12. Optimizasyon yöntemleri ve 0.4L eksantrisite için hata fonksiyonu

$E = 0.40 \times L$	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Maksimum	Minimum
ABC	0.00313	0.00795	0.012	0.0029
BBO	0.0365	0.0427	0.1103	0.0037
TSA	0.0066	0.0032	0.0201	0.0000

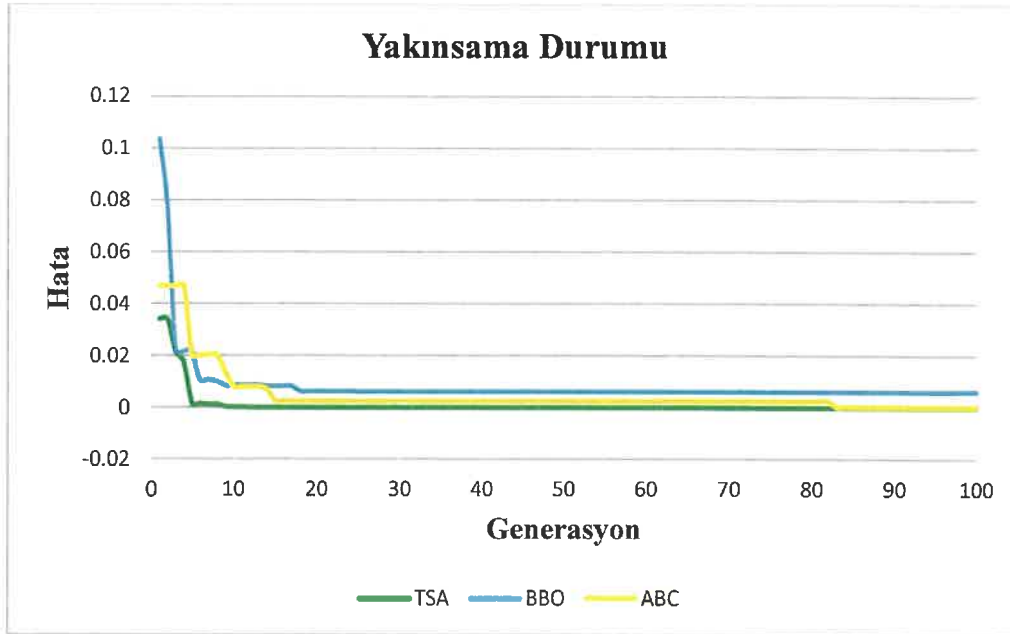
Çizelge 4.13. Optimizasyon yöntemleri ve 0.45L eksantrisite için hata fonksiyonu

$E = 0.45 \times L$	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Maksimum	Minimum
ABC	0.011882	0.34891	0.3712	0.336
BBO	0.0878	0.4095	0.6551	0.3562
TSA	0.0214	0.3612	0.4222	0.3540



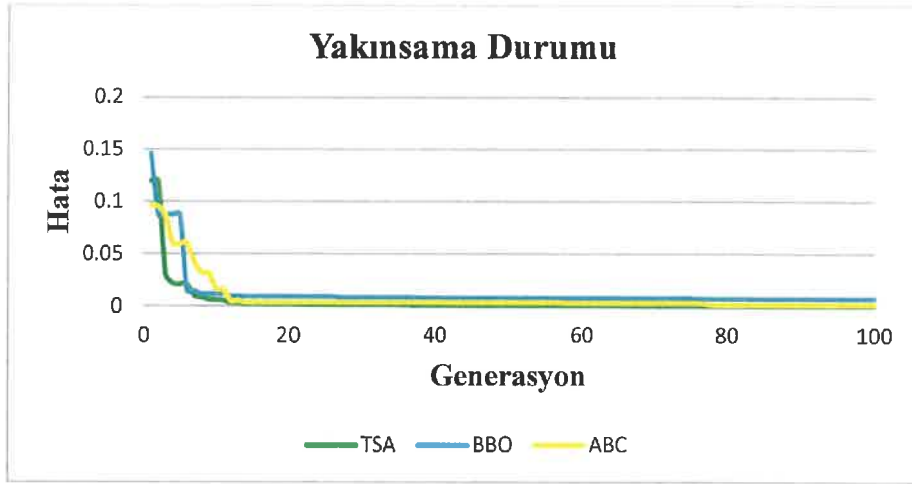
**Şekil 4.12.** Sürekli temelde TSA yöntemi kullanılarak eksantrisite bağlı katsayıların dağılım grafiği

Bu örneğimiz için her 3 optimizasyon yönteminde arama geçmişlerini incelediğimizde eksantrisitenin 0.2L'den 0.40L'ye kadar benzer şekilde oluşmaktadır. Genel olarak BBO'nun ABC yönteminden daha iyi yakınsadığını ancak jenerasyon arttıkça ABC daha hızlı olduğu görülmektedir. Diğer yöntemlere göre en iyi yakınsamayı TSA yönteminin sağladığı gözlemlenmektedir.

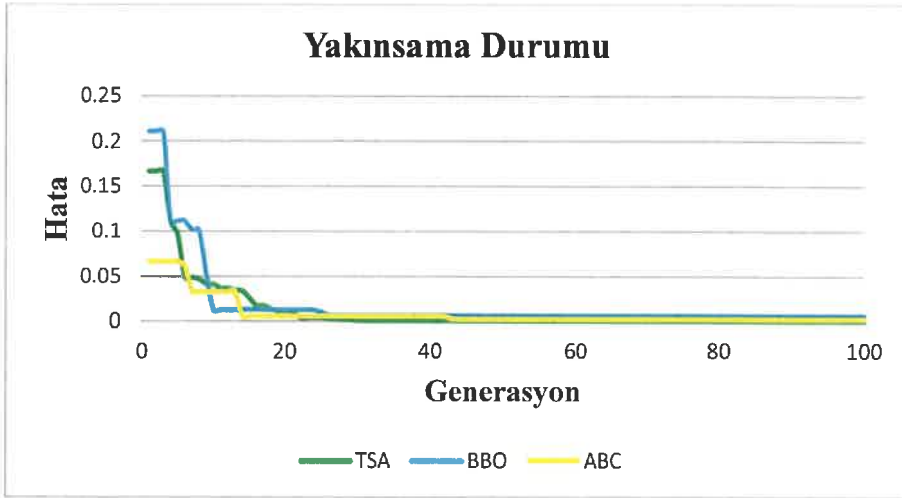


**Şekil 4.13.** Sürekli temelde 2. örneğin 0.2L eksantrisite değeri için yakınsama durumu

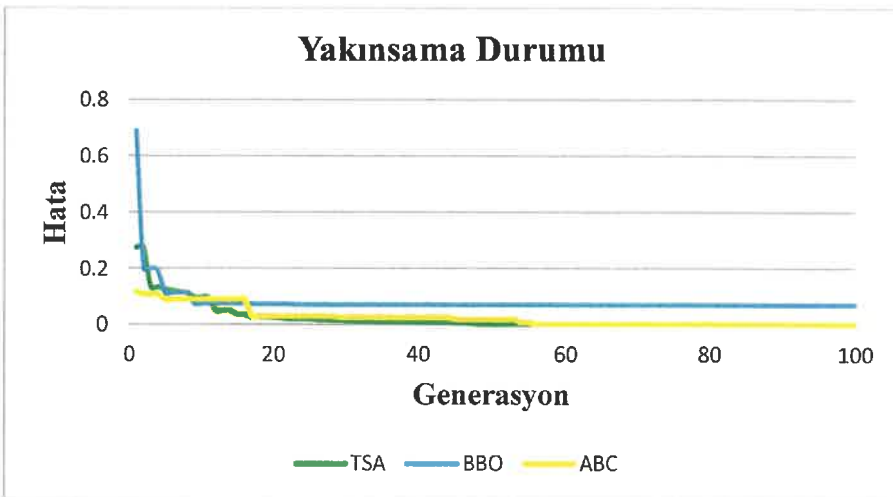




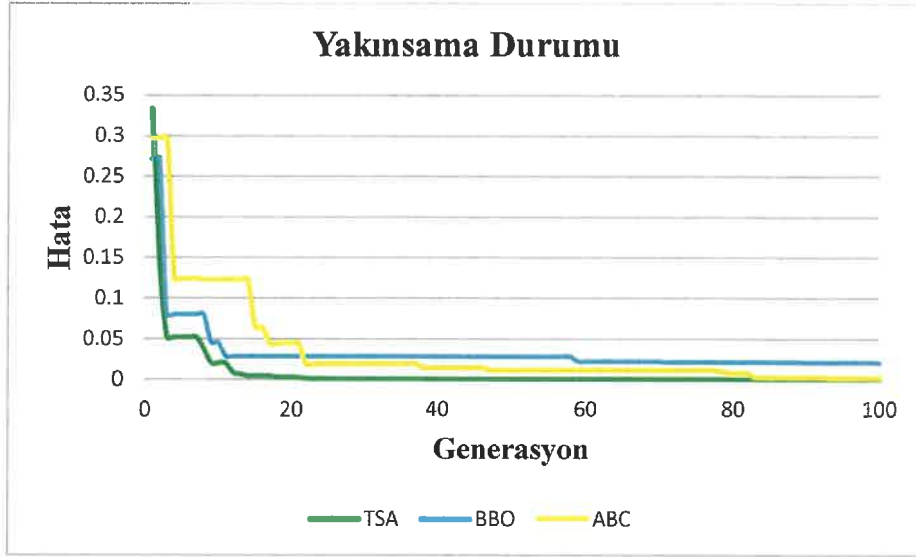
Şekil 4.14. Sürekli temelde 2. örneğin 0.25L eksantrisite değeri için yakınsama durumu



Şekil 4.15. Sürekli temelde 2. örneğin 0.30L eksantrisite değeri için yakınsama durumu

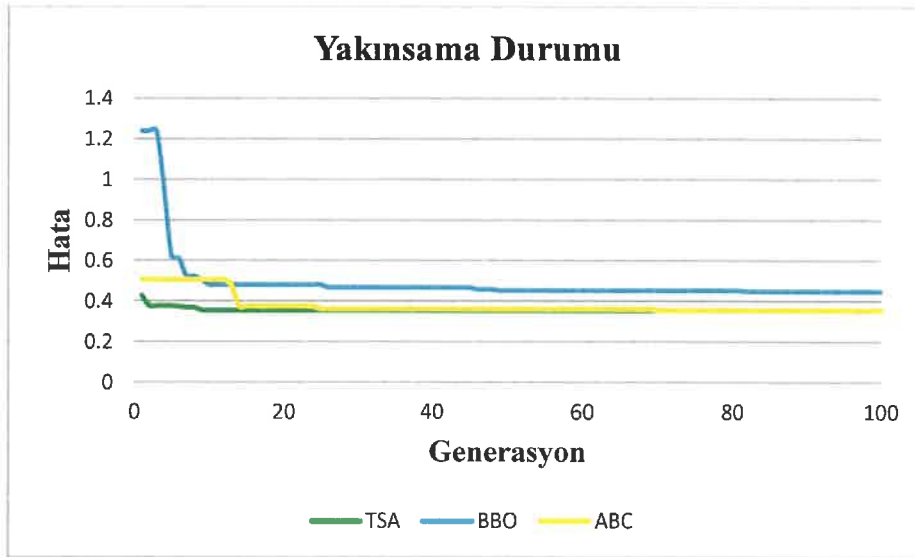


Şekil 4.16. Sürekli temelde 2. örneğin 0.35L eksantrisite değeri için yakınsama durumu



Şekil 4.17. Sürekli temelde 2. örneğin 0.40L eksantrisite değeri için yakınsama durumu

Eksantrisitenin 0.45L değerinde ise arama geçmişi incelendiğinde diğer eksantrisite değerlerine göre daha yavaş olduğu gözlemlenmektedir. Burada ABC yönteminin BBO daha iyi yakınsadığını ve jenerasyon arttıkça daha hızlı olduğu görülmektedir. Diğer yöntemlere göre en iyi yakınsamayı TSA yönteminin sağladığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.18. Sürekli temelde 2. örneğin 0.45L eksantrisite değeri için yakınsama durumu

## 5. SONUÇLAR

Tez çalışmasında büyük dışmerkezli elastik sürekli temeller için optimum negatif gerilme dağılımı yapılabilen yazılım geliştirmesi, literatüre özgün ve yenilikçi çalışmalar sunulması ve bu metodun sürekli temellerde kullanılmasıyla daha gerçekçi bir sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda meta sezgisel optimizasyon yöntemi olan ABC, TSA, BBO yöntemleri kullanılarak farklı eksantrisite değerlerine sahip 6 adet tasarım örneği kullanılmıştır. Bu örneklerde kullandığımız her bir optimizasyon yöntemi için 10 farklı analiz yapılmıştır. Geliştirilen yazılımda yatak katsayısı yöntemi kullanılarak bu yöntemle 3 optimizasyon yöntemi uygulanmış negatif gerilme dağılımı yapılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen hata fonksiyonunun değer farkı ve maksimum zemin gerilmeleri değerleri farkı karşılaştırılmıştır. Eksantrisiteye bağlı olarak hata değerleri incelendiğinde 0.40L eksantrisite değerine kadar başarılı bir performans sergilediği ancak 0.45L eksantrisite değerinde performansı azalmaktadır. Bu durumda 0.45L eksantrisite değeri büyük bir eksantrisite değeri olduğundan dolayı 0.4L eksantrisite kadar uygulanabilir bir yöntem olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sonucunda geliştirilen optimizasyon tabanlı algoritmanın oldukça başarılı olduğu, elde edilen sonuçlara göre zemin gerilme dağılımının ve performansının başarılı olduğu gözlemlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan ABC, BBO, TSA optimizasyon yöntemlerinin de etkili sonuç verdiği ve büyük dışmerkezli olan elastik sürekli temel yapılarında uygulanabilir olduğu gözlemlenmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında TSA yönteminin en iyi performansı sergilediği neredeyse kusursuz sonuçlar elde edildiği gözlemlenmektedir. Aramam geçmişleri incelendiğinde birbirlerine benzer olarak yakınsama durumu gözlemlenmiştir. Genel olarak BBO'nun ABC yönteminden daha iyi yakınsadığını ancak jenerasyon arttıkça ABC daha hızlı olduğu görülmektedir. Diğer yöntemlere göre en iyi yakınsamayı TSA yönteminin sağladığı gözlemlenmektedir.

Gerilme dağılımı yeniden yapıldığında maksimum taban gerilmelerinde artış olduğu bu artışın eksantrisite değeri ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmektedir. Artışın göz arda alınmayacak kadar fazla olduğu ve özellikle yüksek dış merkezliliğe maruz temellerde gerilme dağılımının tekrar yapılması doğru temel davranışı elde edilmesi açısından önerilmektedir.

$a_1, a_2, a_3, a_4$  katsayılar ve eksantrisite arasında net bir ilişki kurulamamıştır. Ancak yatak katsayısı, temel uzunluğu, eğilme rijitliği, temel genişliği ve etki eden yük gibi diğer parametrelerin de katılmasıyla uygun bir ilişkin çıkarılabileceği düşünülmektedir. Bu ilişkinin çıkartılabileceği gelecekteki çalışmalara önerilebilmektedir.

Sonuç olarak gelecekteki çalışmalar için geliştirilen yazılım, literatürde belirtilen konuda bir çalışma bulunmadığı için faydalı bir çalışma olacağı önerilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Adrian, I. 2010. Pressures distribution for eccentrically loaded rectangular footings on elastic soils. Proc., Int. Conf. on Mathematical Models for Engineering Science, World Scientific and Engineering Academy and Society, Stevens Point, WI, 213–216.
- Ahmad 2017. <https://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8 & SSNO=16 & USER=3795> [30.05.2019]
- Akyol, S. ve Alataş, B. 2012. Güncel sürü zekası optimizasyon algoritmaları. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 1(1): 36-50.
- Algin, H. M. 2000. Stresses from linearly distributed pressures over rectangular areas. *Int. J. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 24(8): 681–692.
- Algin, H. M. 2007a. Interlock mechanism of concrete block pavements. *Journal of Transport. Engineering*, 133(5): 318–326.
- Algin, H. M. 2007b. Practical formula for dimensioning a rectangular footing. *Eng. Structures*, 29(6): 1128–1134.
- Aslan, M., Beşkirli, M., Kodaz, H. Ve Kıran, M. S. 2018. An Improved tree seed algorithm for optimization problems. *Int J. Mach Learn Comput*, 8(1): 20-25.
- Topçu, A. 2019. [http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index\\_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme\\_2\\_8.pdf](http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme_2_8.pdf) [30.05.2019]
- Aydoğdu, İ. 2017. Cost optimization of reinforced concrete cantilever retaining walls under seismic loading using a biogeography-based optimization algorithm with levy flights, *Engineering Optimization*, 49(3): 381-400.
- Aydoğdu, İ. and Akın, A. 2015. Biogeography based CO2 and cost optimization of RC cantilever retaining walls, *17th International Conference on Structural Engineering*, Paris, France.
- Aydoğdu İ., 2016. New iterative method to calculate base stress of footings under biaxial bending. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(8): 40-48.
- Babalık, A., Çınar, A. C. and Kıran, M. S. 2017. A Modification of tree-seed algorithm using deb's rules for constrained optimization. *Applied Soft Computing*, 63: 298-305.
- Bellos, J. and Bakas, N. 2017. Complete Analytical solution for linear soil Pressure dist. under rigid rectangular spread footings. *International Journal of Geomechanics*, 17(7): 04017005-1-21.
- Camp, C. V. and Assadollahi, A. 2015. CO2 and cost optimization of reinforced concrete footings subjected to uniaxial uplift., *Journal of Building Engineering*, (3): 171-183.
- Celep, Z. 2015. Betonarme Yapılar, Beta Yayınları, Sekizinci Baskı, İstanbul 864 s.
- Çavuş, V. and A. Tuncer 2017. İnsansız hava araçları için yapay arı kolonisi algoritması kullanarak rota planlama. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1): 259-265.

- Çınar, A. C. and M. S. Kıran 2018. A parallel implementation of tree-seed algorithm on CUDA supported graphical processing unit. *Journal Of The Faculty Of Engineering and Architecture Of Gazi University*, 33(4): 1397-1409.
- De França Filho, W. L., Carvalho, R. C., Christoforo, A. L. and Lahr, F. A. R. 2017. Dimension of isolated footing submitted to the under biaxial bending considering the low concrete consumption. *International Journal of Materials Engineering*, 7(1): 1-11
- Değertekin, S. Ö. Fırat, M. Ü., Hayalioğlu, M. S. 2013. Kafes Yapıların Modifiye Edilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması ile Optimizasyonu. XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi, ss. 196-206, 26- 30 Ağustos, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa
- Düzgün, M. 2001. Elastik zemine oturan sürekli temellerin kuvvet yöntemi ile analizi ve sayısal hesabı için geliştirilen bilgisayar programı. *Dokuz Eylül Üni. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3): 33-50.
- Ergezer, M., Simon, D., Du, D. 2009. Oppositional Biogeography-Based Optimization. IEEE International Conference On Systems, Man and Cybernetics, IEEE. ISBN: 978-1-4244-2793-2
- Ersoy, U. 1995. Betonarme Döşeme ve Temeller, Evrim Yayınevi, 34, Ankara 245 s.
- Hadidi, A. and Nazari A. 2013. Design and economic optimization of shell-and-tube heat exchangers using biogeography-based (BBO) Algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 51(1-2): 1263-1272.
- Hetényi, M. 1946. Beams on elastic foundation. Ann Arbor University, Michigan Uni. of Michigan Press, London, 225 p.
- Irlles, R. and F. Irlles 1994. Explicit stresses under rectangular footings. *Journal of Geotechnical Engineering* 120(2): 444-450.
- Jarquio, R. and V. Jarquio 1983. Design footing area with biaxial bending. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(10): 1337-1341.
- Karaboğa, D. 2005. An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization. Technical Report-Tr06, pp. 1-10, October, Erciyes University, Kayseri
- Kıran, M. S. 2015. An Implementation of Tree-Seed Algorithm (TSA) For Constrained Optimization. The 19th Asia Pacific Symposium, pp. 189-197, 22-25 November, IELS, Bangkok, Thailand
- Kıran, M. S. (2015). TSA: Tree-Seed algorithm for continuous optimization. *Expert Systems With Applications* 42(19): 6686-6698.
- Köseoğlu, S., 1986. Temeller-Statığı ve Konstrüksiyonu, Matbaa Teknisyenleri Basımevi İstanbul, 887 s.
- Loukidis, D. and Tamiolakis, G.-P. 2017. Spatial distribution of winkler spring stiffness for rectangular mat foundation analysis., *Engineering Structures*, 153: 443-459.
- Ma, H. and D. Simon 2011. Blended Biogeography-Based Optimization For Constrained Optimization. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence* 24(3): 517-525.

- Özmen, G. 2011. Eğik eğilme etkisi altındaki dikdörtgen tekil temellerde taban gerilme hesabı, *Teknik Dergi* 22(109): 5659-5674.
- Öztürk, A., Çobanlı, S., Duman, S., Tosun, S. ve Döşoğlu, K. 2011. Yapay arı kolonisi algoritması ile elektrik güç sistemi optimal yakıt maliyetinin belirlenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May, Elazığ.
- Öztürk, A. 2002. Gerçek sayı kodlamalı genetik algoritmaların optimizasyonda kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 65s.
- Sevim, Ö., Sönmez, M. 2014. Geliştirilmiş yapay arı koloni algoritması ile kafes ve düzlemsel çelik yapıların optimum tasarımı, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2): 38-51.
- Saplıoğlu, K., Şenel, F. A. ve Topçu, F. 2004 Yapay arı kolonisi ile hazne kapasitesinin optimizasyonu Köprüçay örneği, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi* 2(2): 101-108.
- Simon, D. 2008. Biogeography-based optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(6): 702-713.
- Saraçoğlu, B., Güvenç, U., Dursun M., Poyraz G. ve Duman, S. 2013. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon metodu kullanarak asenkron motor parametre tahmini. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(1): 46-54.
- Tabsh, S. W. and Rauf Al-Shawa A. 2005. Effect of spread footing flexibility on structural response. *Practice Periodical On Structural Design And Construction*, 10(2): 109-114.
- Yiğitbaşı, E. D. 2014. Yapay arı kolonisi optimizasyonu ile kenar bulma. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 85 s.

## ÖZGEÇMİŞ

**SEDA TURAN**

**Seda.turan037@gmail.com**



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2013-2017	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Serbest Mühendis 2017- Devam Ediyor	KDM Yapı Denetim Limited Şirketi Manavgat/Antalya
--	--