



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEOPOLİMER BETON ve GELENEKSEL BETON ÜRETİM
SÜREÇLERİNDEN KAYNAKLI CO₂ SALINIMININ
METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE TESPİTİ

Alper ÇAKMAK

DANIŞMAN
Doç. Dr. Mücteba UYSAL

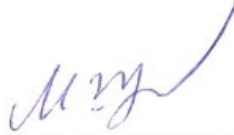
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

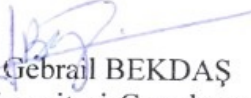
İSTANBUL-2019

Bu çalışma 26.12.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliğı Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ



Doç. Dr. Mücteba UYSAL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. GebraİL BEKDAş
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Orhan CANPOLAT
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisansım boyunca her türlü yardımı esirgemeyen, sayın danışmanım Doç. Dr. Mücteba UYSAL'a, özellikle tez konusu bulma aşamasında sayın Doç. Dr. Gebrail BEKDAŞ'a, isimlerini saymakla bitiremeyeceğim, ufkumu genişleten ve keyifle kendisini dinleten 2017-2019 yılları arasındaki sayın İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa hocalarıma çok teşekkür ederim.

Tez yazmam konusunda motivasyon, olanak sağlayan çalışma arkadaşlarıma ve tabii ki en başta tüm eğitimim boyunca sürekli arkamda duran, her türlü desteği sağlayan aileme teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2019

Alper ÇAKMAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. GEOPOLİMERLER	4
2.1.1. Geopolimerin Ortaya Çıkışı	4
2.1.2. Geopolimer Beton Kullanım Alanları.....	5
2.1.3. Geopolimer Beton Kür Şartları	8
2.1.4. Geopolimer Betonun Çevreye Etkisi	9
2.2. METASEZGİSEL YÖNTEMLER.....	10
2.2.1. Genetik Algoritmalar	12
2.2.2. Karınca Kolonisi Algoritması	16
2.2.3. Parçacık Sürü Algoritması	20
2.2.4. Tabu Arama Algoritması	22
2.2.5. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Algoritma.....	24
2.2.6. Çiçek Tozlaşma Algoritması	30
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1. DÖRTGEN BETONARME KOLON TASARIMI	32
3.1.1. Sabit Değerler.....	32
3.1.2. Rastgele Kolon Boyutları Atanarak Çözüm Kümelerinin Bulunması.....	33
3.1.3. Amaç Fonksiyonu	37
3.1.4. Tasarım Şartlarının Kontrolü.....	39
3.1.5. TLBO Algoritmasının Oluşturulması	41

3.1.6.	FPA Oluşturulması	44
3.2.	DÖRTGEN BETONARME KİRİŞ TASARIMI	45
3.2.1.	Sabit Değerler	45
3.2.2.	Tasarım Şartları	46
3.2.3.	Rastgele Kiriş Boyutları Atanarak Çözüm Kümelerinin Bulunması.....	48
3.2.4.	Amaç Fonksiyonu	49
3.2.5.	Tasarım Şartlarının Kontrolü.....	50
3.2.6.	TLBO Algoritmasının Oluşturulması	53
3.2.7.	FPA Oluşturulması	56
3.3.	BETONARME KARE TEKİL TEMEL TASARIMI.....	57
3.3.1.	Sabit Değerler	57
3.3.2.	Rastgele Temel Boyutları Atanarak Çözüm Kümelerinin Bulunması	59
3.3.3.	Amaç Fonksiyonu	61
3.3.4.	Tasarım Şartlarının Kontrolü.....	62
3.3.5.	TLBO Algoritmasının Oluşturulması	65
3.3.6.	FPA Oluşturulması	67
4.	BULGULAR.....	70
4.1.	BETONARME KOLON OPTİMİZASYONU	70
4.2.	BETONARME KİRİŞ OPTİMİZASYONU	72
4.3.	BETONARME KARE TEKİL TEMEL OPTİMİZASYONU	74
4.4.	ALGORİTMALARIN ÇEVİRİMLİ ÇALIŞTIRILMASI	77
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	79
KAYNAKLAR	82	
EKLER.....	87	
EK 1.	Kolon için TLBO algoritması kodları	87
EK 2.	Kiriş için TLBO algoritması kodları	124
EK 3.	Temel için TLBO algoritması kodları	133
ÖZGEÇMİŞ	140	

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: 2016 yılında sektörlere göre evrensel sera gazı emisyonu [1].....	1
Şekil 1.2: The University of Queensland's Global Change Institute (GCI) [7].	2
Şekil 2.1: Brisbane West Wellcamp Havalimanı kaplaması geopolimer beton imalatı [11].	6
Şekil 2.2: The Bell Boeing V-22 Osprey hava arancının piste inişi [12].	6
Şekil 2.3: Murrarie Beton Tesisi'nde öngermeli prefabrik geopolimer tabliye [13].	7
Şekil 2.4: Brisbane Belediyesi'nin yaptırdığı geopolimer tabliyeli köprü [13].	7
Şekil 2.5: Metasezgisel yöntemlerin çalışma algoritması [27].	11
Şekil 2.6: Metasezgisel yöntemlerin sınıflandırılması [29].	12
Şekil 2.7: Genetik algoritma süreci [31].	13
Şekil 2.8: Geliştirilmiş benzetilmiş tavlama genetik algoritması akış şeması [33].	15
Şekil 2.9: Feromon yoğunluğunun karınca kolonisi hareketine etkisi [36].	16
Şekil 2.10: 20 katlı asimetrik çerçeveye sahip binanın 3D görünüşü [37].	19
Şekil 2.11: Kuş sürüsünün uçuşu sırasındaki davranışı [41].	20
Şekil 2.12: 40 elemanlı uzay çerçevenin plan ve kesit görüntüsü [50].	24
Şekil 2.13: 63 elemanlı uzay çerçevenin plan ve kesit görüntüsü [50].	24
Şekil 2.14: Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması akış şeması [51].	27
Şekil 2.15: 942 elemanlı uzay çelik kulanin sırasıyla 3D, yan ve üst görünüşleri [54].	29
Şekil 3.1: Dörtgen betonarme kolon sabit değerleri.	33
Şekil 3.2: Dörtgen betonarme kolon sınırlamaları.	33
Şekil 3.3: Rastgele dörtgen betonarme kolon boyutları atama kodları.	34
Şekil 3.4: Betonarme kolon tasarımı için abak formülleri.	35

Şekil 3.5: Betonarme kolon tasarımı için abak seçim kodları.	36
Şekil 3.6: Betonarme kolon donatı alanı bulma kodu.....	37
Şekil 3.7: Betonarme kolonda emisyon bulma kodları.....	39
Şekil 3.8: Betonarme kolonda yönetmelik şartları kontrolü.	41
Şekil 3.9: Betonarme kolonda öğretmen fazı.	42
Şekil 3.10: Betonarme kolonda öğretim faktörü kullanımı.	42
Şekil 3.11: Donatı şartı uymayan çözümün elenmesi.....	42
Şekil 3.12: İyi olan yeni çözümün kaydedilmesi.....	43
Şekil 3.13: Betonarme kolon için öğrenci fazı.	43
Şekil 3.14: Kolon için küresel polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.....	44
Şekil 3.15 Kolon için lokal polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.	45
Şekil 3.16: Betonarme kiriş için sabit değerler.	46
Şekil 3.17: Betonarme kiriş için tasarım şartları.	47
Şekil 3.18: Betonarme kiriş için rastgele boyut ataması.....	48
Şekil 3.19: Betonarme kiriş boyut yuvarlaması.	48
Şekil 3.20: Moment kontrolüne göre donatı alanı bulunması.	49
Şekil 3.21: Atanan boyutlara göre emisyon miktarının bulunması.	50
Şekil 3.22: Betonarme kiriş için tasarım şartları kontrolü.	52
Şekil 3.23: Betonarme kiriş için öğretmen fazı.....	53
Şekil 3.24: Betonarme kiriş için öğretim faktörü.	54
Şekil 3.25: Yeni çözüm matrisinin oluşturulması.	54
Şekil 3.26: Yeni çözümlerden iyilerin kaydedilmesi.....	54
Şekil 3.27: Öğrenci fazına göre kiriş değişkenlerinin oluşturulması.....	55
Şekil 3.28: Yeni çözüm matrisinin oluşturulması.	55
Şekil 3.29: İyi olan yeni çözümün kaydedilmesi.....	56

Şekil 3.30: Kiriş için küresel polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.....	56
Şekil 3.31: Kiriş için lokal polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.	57
Şekil 3.32: Tekil temel için sabit değerlerin atanması.	59
Şekil 3.33: İterasyon ve popülasyon sayısının atanması.	59
Şekil 3.34: Betonarme temel için çözüm matrisinin oluşturulması.	62
Şekil 3.35: Betonarme temel için tasarım şartları kontrolü.	64
Şekil 3.36: Betonarme temel için öğretmen fazının oluşturulması.	65
Şekil 3.37: Betonarme temel için öğretme faktörünün ve yeni değer matrisinin oluşturulması.....	66
Şekil 3.38: Betonarme temel için iyi olan çözümün kalıcı matrise atanması.	66
Şekil 3.39: Betonarme temel için öğrenci fazının oluşturulması.	67
Şekil 3.40: Temel için küresel polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.....	68
Şekil 3.41: Temel için lokal polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.	69

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Fırında ve atmosferde kürlenmenin geopolimer beton dayanımına etkisi [21].	9
Tablo 3.1: Betonarme kolon özellikleri ve etkiyen yükler.	32
Tablo 3.2: Geleneksel Portland çimentolu ve geopolimer betonların CO2 emisyonları [58].	38
Tablo 3.3: Kolon için TS500:2000 ve TBDY-2018'e göre tasarım şartları.	40
Tablo 3.4: Betonarme kiriş özellikleri ve etkiyen yükler.	45
Tablo 3.5: C30/37 beton ve B420C donatı çeliği mukavemet özellikleri.	46
Tablo 3.6: Betonarme kiriş için TS500:2000 ve TBDY-2018'e göre tasarım şartları.	47
Tablo 3.7: Betonarme kare tekil temel özellikleri ve etkiyen yükler.	57
Tablo 4.1: TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları.	71
Tablo 4.2: FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları.	71
Tablo 4.3: TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları.	72
Tablo 4.4: FPA'ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları.	72
Tablo 4.5: TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları.	73
Tablo 4.6: FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları.	73
Tablo 4.7: TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları.	74
Tablo 4.8: FPA'ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları.	74
Tablo 4.9: TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları.	75
Tablo 4.10: FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları.	76

Tablo 4.11: TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları	76
Tablo 4.12: FPA'ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları	77
Tablo 4.13: Kolon tasarımı için istatistiksel sonuçlar	77
Tablo 4.14: Kiriş tasarımı için istatistiksel sonuçlar	78
Tablo 4.15: Temel tasarımı için istatistiksel sonuçlar	78



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A_p	: Zımbalama alanı
A_{st}	: Çelik donatı alanı
b	: Betonarme eleman eni
b_w	: Kiriş eni
$b_x b_y$: Temel alanı
C_i	: Döngü süresi
CH_4	: Metan
CO_2	: Karbondioksit
e	: Eksantrisite
E_s	: Donatı çeliği elastisite modülü
f_{cd}	: Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctd}	: Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı
f_{yd}	: Çelik tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Çelik karakteristik akma dayanımı
f_{zn}	: Net zemin dayanı
f_{zu}	: Genişletilmiş zemin emniyet gerilmesini
g_i	: Yeşil ışık süresi
h	: Betonarme eleman boyu
$HFCs$: Hidroflorür karbonlar
h_k	: Kolon yüksekliği
k_1	: Ortalama beton basınç gerilmesi ve maksimum gerilme arasındaki oran
k_3	: Maksimum beton basınç gerilmesi ile betonun silindir mukavemeti arasındaki oran
L	: Betonarme eleman uzunluğu
M_d	: Tasarım momenti
M_r	: Taşıma gücü momenti

N_2O	: Nitroz oksit
$Na(-Si-O-Al-O)_n$: Hidro sodalit
$NaOH$: Sodyum hidroksit
N_d	: Tasarım normal kuvvet
$N_{k,T,m}$: Araç spesifik güç değerleri sayısı
P_{ij}	: Karıncaya atanan muhtemel kesit
$p_{i,t}$: i bireyinin t iterasyonuna kadarki en iyi konumu
pp	: Paspayı
ps	: Popülasyon sayısı
$Si_2O_5,Al_2(OH)_4$: Kaolinit
u_p	: Zımbalama çevresi
W_i	: Kesit ağırlığı
T_f	: Öğretme faktörü
V_p	: Zımbalama kuvveti
X_i	: i. çözüm
X_{mean}	: Sınıfın ortalama değeri
x_{best}	: En iyi çözüm değeri
$x_{current}$: Mevcut çözüm
$x_{i,t}$: i bireyinin t iterasyonundaki konumu
$x_{initial}$: Başlangıç çözümü
σ_z	: Zemin gerilmesi
$\vartheta_{i,t}$: i bireyinin t iterasyonundaki hızı
$^{\circ}C$: Celcius derece
ε	: Ceza katsayısı
γ	: Eğilme etkisi katsayısı
ϑ	: Kesit görünürlüğü
λ	: Sıralanmış karınca sayısı
μ	: Karınca sırası
ξ	: Lokal güncelleme katsayısı
ρ	: Donatı oranı
τ	: Feromon miktarı
Φ_i	: Araç bekleme süresi

Kısaltmalar	Açıklama
AISC-ASD	: American Institute of Steel Construction- Allowable Stress Design
BK	: Beton kaynaklı emisyon miktarı
CM	: Çözüm matrisi
DE	: 1 kg çelik betonarme donatısı kaynaklı emisyon miktarı
DK	: Donatı kaynaklı emisyon miktarı
doa	: Betonarme donatısı özgül ağırlığı
FPA	: Çiçek Tozlaşma Algoritması (Flower Pollination Algorithm)
GBE	: 1 m ³ geleneksel/geopolimer beton kaynaklı emisyon miktarı
GCI	: The University of Queensland's Global Change Institute
kN	: Kilonewton
LRFD-AISC	: Load and Resistance factor design of American Institute of Steel Construction
MPa	: Megapascal
TBDY-2018	: 2018 tarihli Türkiye bina deprem yönetmeliği
TDA	: Toplam donatı alanı
TE	: Toplam emisyon miktarı
TLBO	: Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması (Teaching Learning Based Optimization)
TS500:2000	: 2000 tarihli betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
VSP	: Anlık spesifik araç gücü

ÖZET

GEOPOLİMER BETON ve GELENEKSEL BETON ÜRETİM SÜREÇLERİNDEN KAYNAKLI CO₂ SALINIMININ METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alper ÇAKMAK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mücteba UYSAL

Sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle birim zamanda yapılan üretim artmıştır. Hızlı üretimin getirdiği birçok avantaj olmasına karşın, çevresel olarak olumsuz etkileri de olmaktadır. Günümüzün önemli çevresel zararlarından birisi de küresel ısınmadır. Küresel ısınmanın başlıca sebeplerinden birisi de petrol, kömür, doğalgaz gibi yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ gazıdır. CO₂ gazı, taşıt ve makine kullanımı, fabrikada üretim süreci gibi nedenlerden dolayı atmosfere salınır.

Medeniyet ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla üretilen en önemli malzemelerden birisi de betondur. Ancak geleneksel betonu oluşturan malzemelerin üretim süreci sırasında atmosfere yüksek miktarda CO₂ salınımı olmaktadır. Bu salınımın büyük kaynaklarından birisi de çimento üretim sürecinden meydana gelmektedir. Geleneksel betonun ana malzemelerinden biri olan çimentonun; üretim sürecinden dolayı ortaya çıkan CO₂ salınımı, atmosferdeki toplam CO₂ salınımının yaklaşık %7'sidir. Geopolimer betonlar ise bünyesinde çimento bulundurmadığı gibi, atık durumda olan yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi malzemelerin değerlendirilmesine de imkân sağlamaktadır.

Bu çalışmada, metasezgisel algoritmalarından öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) ve çiçek tozlaşma algoritması (FPA) kullanılarak; betonarme kolon, kiriş ve tekil temel tasarımı

yapılmıştır. Optimizasyonun amacı; tasarım şartlarına uygun bir şekilde, betonarme malzemeleri üretim süreçlerinden kaynaklı minimum CO₂ emisyonu verecek boyutlandırmayı bulmaktır. Optimum tasarımlar, geleneksel beton kullanılması ve geopolimer beton kullanılması durumlarına göre ayrı ayrı bulunmuştur. Çalışmanın sonunda ise betonarme eleman üretimi sırasında, geleneksel beton yerine geopolimer betonun kullanılması CO₂ emisyon miktarının %40-%58 arasında düşürdüğü tespit edilmiştir.

Aralık 2019, 158 sayfa.

Anahtar kelimeler: CO₂ emisyonu, geopolimer beton, geleneksel beton, metasezgisel yöntemler, öğretme-öğrenme tabanlı algoritma, çiçek tozlaşma algoritması



SUMMARY

DETERMINATION OF CO₂ EMISSIONS FROM GEOPOLYMER CONCRETE AND CONVENTIONAL CONCRETE PRODUCTION PROCESSES USING METAHEURISTIC ALGORITHMS

M.Sc. THESIS

Alper ÇAKMAK

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mücteba UYSAL

With the development of industry and technology, production per unit time has increased. Although there are many advantages of rapid production, it also has environmental negative effects. One of today's major environmental threat is global warming. One of the main reasons of global warming is the CO₂ gas produced by the combustion of such as fuel oil, coal and natural gas. CO₂ gas is released to the atmosphere for reasons such as the use of vehicles and machinery, the production process in the factory.

One of the most important materials produced to fulfill the needs of civilization is concrete. However, during the production process of the materials that compose the conventional concrete, a high amount of CO₂ is released into the atmosphere. One of the major sources of this release is the cement production process. As a result of the production process of cement, which is one of the main materials of conventional concrete, CO₂ emission is approximately 7% of the total CO₂ emission in the atmosphere. Whereas, geopolymer concretes do not contain any cement, also allow the recycle of materials such as blast furnace slag and fly ash.

In this study, using teaching-learning based optimization (TLBO) algorithm and flower pollination algorithm (FPA) which are the metaheuristic algorithms, reinforced concrete column, beam and singular foundation are designed. The aim of the optimization is to find the dimensioning that will give minimum CO₂ emissions from the production processes of reinforced concrete materials in accordance with the design requirements. Optimum designs have been found separately according to the use of conventional concrete and geopolymer concrete. At the end of the study, it was found that using geopolymer concrete instead of conventional concrete during the production of reinforced concrete elements reduced CO₂ emission amount between 40% and 58%.

December 2019, 158 pages.

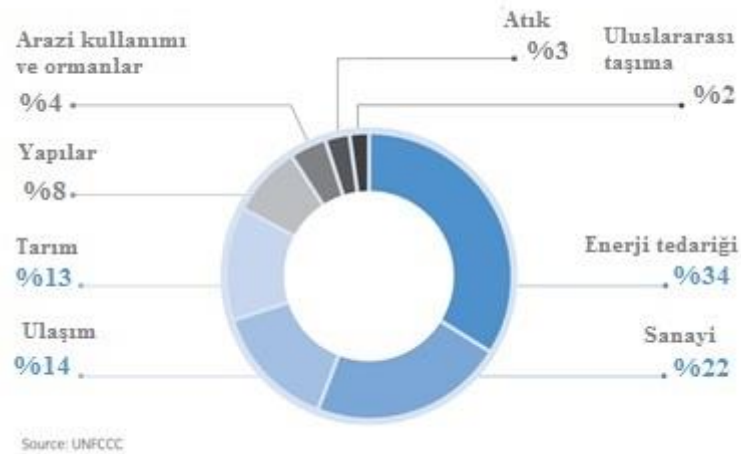
Keywords: CO₂ emission, geopolymer concrete, conventional concrete, metaheuristic algorithms, teaching learning based algorithm, flower pollination algorithm



1. GİRİŞ

Teknoloji ve bilimin sürekli gelişmesi her sektörde beşeri ihtiyaçların karşılanması açısından kolaylıklar sağlamıştır. Bu gelişmelerin sağladığı faydalardan biri de üretim aşamasının hızlandırılarak birim zamanda elde edilen ürün sayısının artırılmasıdır. Bu gelişmeler inşaat sektöründe de aynı sonuçlar vermektedir. Günümüzde, teknoloji sayesinde insanın temel ihtiyaçlarını karşılayabilme kolaylığı sağlanmış ve insan popülasyonunun artmasında etken olmuştur. Artan popülasyon ile birlikte barınma ve medeniyet gereksinimleri de artmış ve çeşitli yapılar üretilerek bu ihtiyaçlar giderilmiştir.

Önceki zamanlarda medeni ihtiyaç olarak mağaralar, çalılıklar, ağaçlar kullanılırken bu süreç çadır ile devam etmiş ve günümüzde ise yerini ağırlıklı olarak betonarme ve çelik yapılara bırakmıştır. Uygarlığın gelişmesi, getirdiği kolaylıkların yanında, evrenin düzenine etki edecek bazı etkenlere de sebep olmuştur. Sera gazı ise bu düzene etkiyecek önemli sebeplerden bir tanesidir. Karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorür karbonlar (HFCs) gibi sera gazları, atmosferdeki kızıl ötesi ışınlarını tutarak küresel ısınmaya neden olur. Küresel ısınmaya neden olan sera gazı kaynaklarının sektörlere göre dağılımı incelendiğinde ise yapı sektörünün etkisinin %8 olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: 2016 yılında sektörlere göre evrensel sera gazı emisyonu [1].

Yapı sektörünü incelediğimizde ise dayanıklılığı, imalat kolaylığı ve ekonomikliğı nedeniyle özellikle gelişmekte olan ülkeler tarafından betonarme yapıların daha çok tercih edildiğı görülmektedir. Yaygın olarak tercih edilen bu yapı türünü oluşturan malzemelerin küresel ısınmaya etkisi birçok araştırmaya konu olmuştur. Yapılan araştırmalara göre ise tek başına çimento sektörünün, dünyadaki toplam CO₂ salınımına etkisinin yaklaşık olarak %5-7 olduğu tespit edilmiştir [2]. Demir çelik sektörünün ise toplam salınımına etkisinin %4 ve %7 arasında olduğu hesaplanmıştır [3].

Daha çok uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen geopolimer beton ise geleneksel betona göre çevreci olduğu için dikkat çekmektedir. Bu beton türünü üretmek için hem atık malzemelerin kullanılması hem de bağlayıcıları üretim aşamasındaki yakıt karşılaştırıldığında geleneksel betona göre 6 kat daha az CO₂ salınımına neden olmasıyla sera gazı etkisi açısından önemlidir [4]. Geleneksel Portland çimentosu üretilirken, 1 ton kalkerin yakılması sonucunda; direkt kalker kaynaklı 0.55 ton, fırınlama işleminde kullanılan yakıt kaynaklı ise 0.40 ton CO₂ ortaya çıkmaktadır [5]. Yani yaklaşık olarak 1 ton geleneksel Portland çimentosu üretimi için atmosfere 1 ton CO₂ salınmaktadır. Geopolimer üretiminde ise; direkt olarak reaksiyon kaynaklı CO₂ salınımı meydana gelmemektedir [5]. Geopolimer betonlar geleneksel betonlar kadar henüz popüler olmamakla birlikte yol kaplamalarında, dayanma duvarlarında, su tanklarında, prefabrik köprü tabliyelerinde kullanılmaktadır [6]. Dünyanın ilk geopolimer betondan üretilmiş yapısı ise The University of Queensland's Global Change Institute (GCI) binasıdır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: The University of Queensland's Global Change Institute (GCI) [7].

Mühendisliğin temel işlevlerinden birisi optimizasyondur; çözümlenmelerini yaparken optimum sonucu bulma amacıyla yöntemler geliştirir. Optimum çözümü bulmaya yönelik yapılan çalışmalardan birisi ise sezgisel algoritmalarıdır. Sezgisel algoritmalar, genellikle matematiksel olarak net bir sonucu bulunamayan problemlere kesin sonuca yakın bir çözüm bulma amacıyla kullanılırlar. Bunu yaparken de doğada gerçekleşen bir takım olaylardan ilham alırlar. Metasezgisel algoritmalarda ise oluşturulan yöntem, sezgisel algoritmadaki gibi probleme özgü değildir ve farklı problemlere uyarlanabilir. Bu yöntemde izlenecek metot daha belirgin ve kontrollüdür.

Yapılan bu çalışmada; geopolimer beton üzerine yapılmış literatür çalışmaları gündeme getirilmiş olup, kullanım alanları ve avantajlarından bahsedilmiştir. Daha sonra ise metasezgisel algoritmalarından bahsedilerek öğretim-öğrenme tabanlı ve çiçek tozlaşma algoritmaları üzerinde durulmuştur. Bu algoritmalar kullanılarak, önceden belirlenen tasarım şartları altında, dörtgen kesitli betonarme kolon, dörtgen kesitli betonarme kiriş ve kare tabanlı betonarme tekil temel tasarımı yapılmıştır. Algoritma amacı olarak ise betonarme elemanların üretim aşaması sırasında ortaya çıkacak minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım seçilmiştir. Geopolimer beton ve geleneksel beton kullanım durumlarına göre iki farklı tasarım yapılmış olup, bulunan sonuçlar irdelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

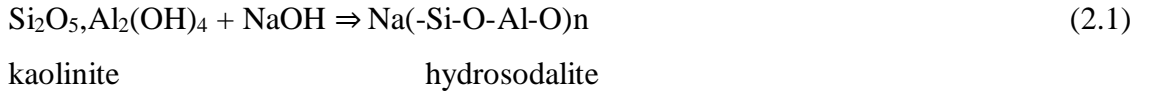
2.1. GEOPOLİMERLER

Geopolimerler; yapı malzemeleri, yol kaplamaları, ısıya dayanıklı duvarlar, seramikler, zemin iyileştirmeleri, restorasyon, otomobil ve uçak sektörü gibi bir çok alanda kullanılabilen uygulamalara sahiptir.

2.1.1. Geopolimerin Ortaya Çıkışı

1970-1973 yılları arasında, Fransa'da daha çok organik plastik kaynaklı ortaya çıkan devasa yangınlar nedeniyle Prof. Dr. Joseph Davidovits yanmayan plastikler üzerine araştırmalara odaklanmıştır. Jeokimya alanında, zeolitlerin sentezinin ve moleküler eleklerin; mineral bağlayıcı ile mineral polimer üretimleri için araştırılmadığını farketmiştir. Yarı kristalize üç boyutlu siliko-alüminat amorf malzemeleri geliştirerek geopolimerleri geliştirmiştir [8].

Alüminosilikat kaolinit mineralleri 100-150°C'de NaOH (sodyum hidroksit) solüsyonuyla sentezleyerek düşük sıcaklıkta hidrosodalit jeosentezini geliştirmiştir.



1973-1976 yıllarında, yapı malzemesi olarak kullanılan, reçine ile yapıştırılmış odun talaşlarının yüzeylerine siliko-alüminat mineralinin yerleştirilmesiyle yanmaya dirençli geopolimer suntalar elde edilmiştir.

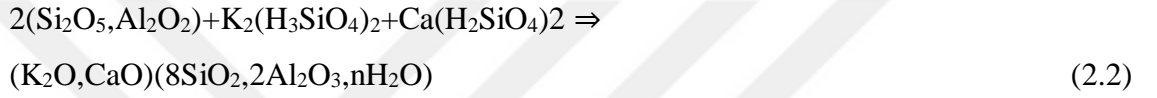
1977-1978 yıllarında, doğal kaolinit ve kuvars birleşimindeki kuvars, 1460°C erime noktasında sentetik kordiyerit, $(\text{Si}_5\text{AlO}_{18})\text{Al}_3\text{Mg}_2$, ile yer değiştirerek seramik geopolimerler elde edilmiştir ve termal genişmesi düşüklüğü nedeniyle elektrik sigortalarında kullanılması için test edilmiştir.

Düşük sıcaklıktaki geopolimerik priz, geleneksel seramik endüstrisini de geliştirebilmektedir. 1977-1982 yıllarında, 125-250°C'deki sodyum polisilat veya potasyum polisilat geopolimerler 1000-1200°C'de çok hızlı fırınlanarak yüksek kalitede seramikler elde edilmiştir.

2.1.2. Geopolimer Beton Kullanım Alanları

1983 yılında Joseph Davidovits ve James Sawyer erken yüksek-dayanımlı geopolimer bağlayıcılar ve çimentolar üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yüksek fırın cürufu kullanarak; priz süresini hızlandıran, basınç ve eğilme dayanımını arttıran geopolimeri elde etmişlerdir. Tehlikeli ve zehirli atıkların uzun süre saklanabilmesi için ise aside karşı dirençli, zeolit özellikli geopolimer bağlayıcıları geliştirmişlerdir [8].

Geopolimerler alümino-silikat oksitlerin, alkali ve kalsiyum polisilikatlarla reaksiyonu sonucu Si-O-Al bağlarının oluşmasıyla meydana gelir:



Kömür kullanılan endüstriden kaynaklı uçucu kül, sodyum hidroksit ve sodyum silikat ile birleştirilerek çevre dostu geopolimer malzeme elde edilmektedir. Geleneksel Portland çimentosunun yaklaşık %40'ı oranında yüksek hacimli uçucu kül kullanılarak yüksek dayanıma sahip betonlar elde edilmektedir. Bu alanda yapılan araştırmalar, yüksek uçucu kül ile üretilen betonların geleneksel Portland çimentosuyla üretilmiş betonlardan daha dayanıklı olduğunu göstermektedir [9].

Geopolimer betonlar kısa sürede yüksek dayanıma sahip olabilmektedirler. Köprüler, hava yolları, dayanma duvarları, atık tankları, karayolu, restorasyon gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar. 2014 yılında Avustralya'da açılan Brisbane West Wellcamp Havalimanı, Dünya'nın en geniş geopolimer beton projesidir. 40.000 m³ geopolimer beton; uçak dönüş alanlarında, apronlarda, taksi yollarında kullanılmıştır [10]. Havalimanı yol kaplaması için 435 mm kalınlığında geopolimer beton, kayan kaplama makinesiyle yerinde dökülmüştür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Brisbane West Wellcamp Havalimanı kaplaması geopolimer beton imalatı [11].

Amerikan ordusu, geopolimer zemin kaplamasını, hava araçlarının piste dikey olarak iniş/kalkış yapması sonucu oluşan ısıya karşı dirençli olduğu için kullanmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: The Bell Boeing V-22 Osprey hava arancınının piste inişi [12].

2009 yılında Avustralya'da Murrarie Beton Tesisi için öngermeli prefabrik köprü, fiberglas kirişler ve 40 MPa geopolimer beton kullanılarak imal edilmiştir (Şekil 2.3). 2012 yılında ise yine Avustralya'da Brisbane Belediye Meclisi isteği üzerine, Bundaleer, West Moggill, Brisbane köprülerinin tabliyeleri 40 MPa geopolimer beton kullanılarak imal edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3: Murrarie Beton Tesisi'nde öngermeli prefabrik geopolimer tabliye [13].



Şekil 2.4: Brisbane Belediyesi'nin yaptırdığı geopolimer tabliyeli köprü [13].

2.1.3. Geopolimer Beton Kür Şartları

Geopolimer betonlar kürlenirken, geleneksel betonlardaki gibi su ile kürleme yöntemi kullanılmaz. Kimyasal reaksiyonların aktivasyonu için ısı kürü, buhar kürü, atmosfer kürü gibi yöntemler kullanılır.

Alkali aktif uçucu kül içeren geopolimer betona ısı ile kürleme uygulandığında en iyi geopolimerleşmenin 40°C-85°C sıcaklıkları arasında olduğu gözlemlenmiştir [14]. Ayrıca 24 saatten uzun süren kürlemenin, dayanımı arttırma etkisinin ihmal edilebilir olduğu da gözlemlenmiştir [15].

Kayaç bazlı geopolimerlerin, atmosfer ortamında ve yüksek sıcaklıkta(40°C-80°C) ilk 4 saatte hemen hemen yerleşmesine karşın en çok 10°C sıcaklık altında 4 günde yerleşmektedir. Bu koşullar, betonun 28 günlük sonrasındaki dayanımında bir farklılığa neden olmamaktadır [16].

Kür süresinin ve kür sıcaklığının, uçucu kül bazlı geopolimer harcı üzerine etkisi bir başka çalışmada incelenmiş ve en iyi dayanım 20 saat süreyle 120°C'de kürlenerek elde edilmiştir [17].

Bir başka çalışmada ise ideal ısı kürü sıcaklığının geopolimer betondaki harç ve agrega boyutlarına bağlı olduğu bildirilmiştir [18].

F tipi uçucu kül bazlı geopolimer beton için 100°C sıcaklıkta buhar ile yapılan kürleme çalışmasında ise 28 günlük basınç dayanımı, 7 günde elde edilmiştir. Aynı betona su ile kürleme uygulandığında ise 28 gün sonunda karakteristik basınç dayanımına ulaşamamıştır. Oda sıcaklığı kürü uygulandığında ise karakteristik basınç dayanımına 28 günde ulaşılmıştır [19].

Kurşun ve bakırdan oluşan cüruf bazlı geopolimere ise 8 saat boyunca 80°C'de buhar kürü uygulandığında 75 MPa basınç dayanımı elde edilebilmiştir [20].

Fırında kürleme ve atmosferde kürlemenin, geopolimer beton dayanımına etkisi incelenen bir çalışmada ise şu şekilde sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 2.1):

Tablo 2.1: Fırında ve atmosferde kürlemenin geopolimer beton dayanımına etkisi [21].

	Geopolimer karışım oranları	7 günlük (MPa)	14 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)
Atmosfer koşulu (23°C)	%80 Uçucu Kül - %20 Yüksek Fırın Cürufu	30.8	37.1	41.5
	%50 Uçucu Kül - %50 Yüksek Fırın Cürufu	34.8	40.9	44.5
Fırın koşulu (70°C)	%80 Uçucu Kül - %20 Yüksek Fırın Cürufu	40.3	44.7	45.4
	%50 Uçucu Kül - %50 Yüksek Fırın Cürufu	42.6	45.8	46.9

Geopolimer betonun, yüksek ısı ortamı olmadan şantiye koşullarında kürlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bir tanesinde, düşük kalsiyumlu uçucu küle toplam bağlayıcı miktarının %5'i kadar geleneksel Portland çimentosu eklenmiştir. Bu sayede betonun yerleşme süresi hızlandırılmıştır. Şantiye koşulu yaklaşık 23 °C ve nem oranı yaklaşık %65 olarak ayarlanmıştır ve 5 saat sonra betonun yerleşmeye başladığı görülmüştür. 28 gün sonra ise hemen hemen %100 yüksek dayanımına erişmiştir [22].

2.1.4. Geopolimer Betonun Çevreye Etkisi

Geleneksel Portland çimentosu ile üretilen betonun uygulanabilirlik, işlenebilirlik, ekonomiklik gibi birçok avantajı olmasına karşın; üretimi aşamasında sebep olduğu CO₂ salınımı nedeniyle çevreyi ciddi derecede etkilemektedir. Çin'de yapılan bir araştırmaya göre; 1 ton klinker üretimi sırasında 0.822 ton, 1 ton çimento üretimi sırasında ise 0.657 ton CO₂ salınımı olmaktadır [23]. Türk çimento firmasının raporuna göre ise 2017 yılında 1 ton çimento üretimi sırasında 0.776 ton CO₂ salınımı olmaktadır [24].

CO₂ emisyonunun sebep olduğu sorunların başında ise sera etkisi gelmektedir. Sera etkisi nedeniyle, Güneş'ten gelen kızılötesi ışınların bir kısmı Dünya'ya çarptıktan sonra uzaya yansımaz ve küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olur. Bu değişim ekolojiyi, sağlığı, doğal dengeyi etkiler. Bunun sonucunda seller, kuraklık, fırtına, deniz seviyesinde yükselme, tarımsal ürünlerde değişiklikler gibi birçok önemli bozulmalar meydana gelir.

Geopolimer üretimi aşamasında, geleneksel Portland çimentosundaki gibi yüksek sıcaklıklarda fırınlama aşaması olmadığı için, üretimi sırasındaki CO₂ salınımı açısından çok daha avantajlıdır. Üretim aşamasındaki CO₂ emisyon miktarları incelendiğinde, geopolimerin geleneksel Portland çimentosuna göre yaklaşık %64 daha az emisyonu sebep olduğu görülmüştür [25].

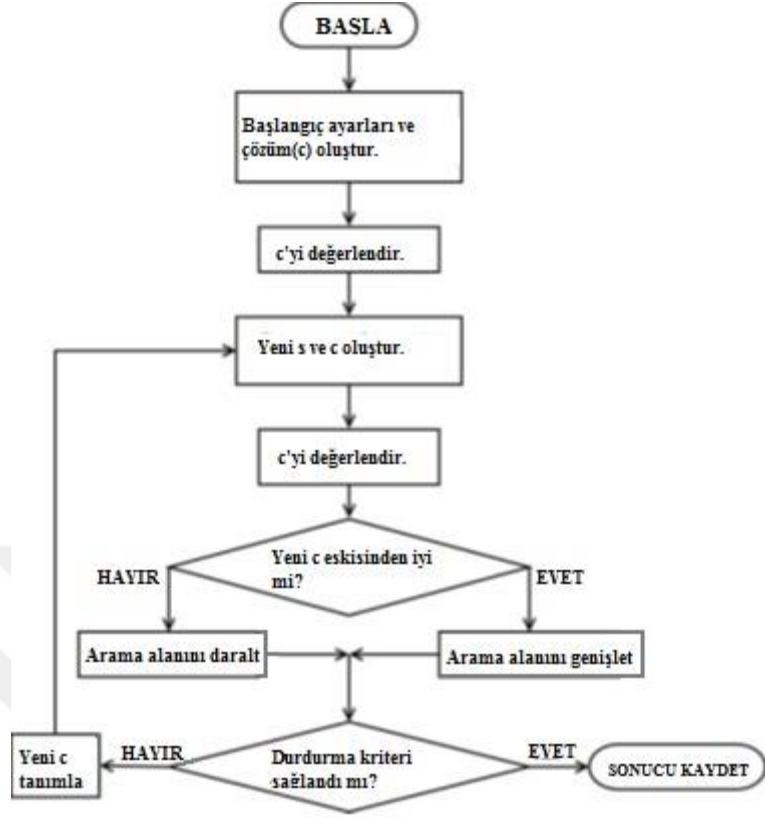
Demir üretimi, “yüksek fırın” adı verilen fırınlarda gerçekleşmektedir. Bu üretim sırasında atık bir malzeme olan yüksek fırın cürufu oluşur. Termik enerji santrallerinde, kömürün yanmasıyla ise bacalardan çevreyi olumsuz etkileyecek uçucu küller yükselir. Ferro krom üretim tesislerinde, silisyum metali veya ferrosilisyum alaşımlarının üretiminde ise bir başka atık olan silis dumanı açığa çıkar. Geopolimerlerin yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi atıklar kullanılarak üretilmesi çevre üzerine pozitif etki yaratmaktadır. Klinker ile elde edilen geleneksel Portland çimentosu yerine, bu atık malzemelerin geopolimer üretiminde değerlendirilmesi doğal kaynakların verimli kullanılması açısından önemlidir. Ayrıca geopolimer betonların hızlı dayanım kazanma, korozyon direnci, aside karşı direnç, donma-çözölmeye karşı dayanıklılık gibi özellikleri de bulunmaktadır.

2.2. METASEZGİSEL YÖNTEMLER

Sezgisel yöntemler, bir problemi çözmeye veya keşfetmeye yaklaşmak amacıyla kullanılan metotlardır. Ancak optimum sonucu, mükemmel veya gerçekçi sonucu vereceğini garanti etmez. Yine de kısa zamanda bir veriye ulaşabilmek için kullanılırlar. Sezgisel yöntemler, optimum sonucun imkansız ya da uygulanamaz olduğu problemlerde, hızlı bir şekilde tatmin edici çözümler bulabilmek için uygulanırlar [26].

Sezgisel yöntemler, belli bir problem üzerine sonuçlar bulurken; bu yöntemlerin parametrelere bağlanarak ve varsayımlar kullanılarak çeşitli problemler üzerinde optimuma yakın çözümü verecek şekilde geliştirilmesiyle metasezgisel(sezgi üstü) yöntemler elde edilmiştir. Metasezgisel yöntemler oluşturulurken, arama uzayında kullanılan değerler ve sonuçlar hafızada tutulur ve bir sonraki iterasyonla karşılaştırılarak iyileştirme yapılır.

Genel olarak metasezgisel yöntemlerin çalışma algoritması Şekil 2.5'teki gibidir.

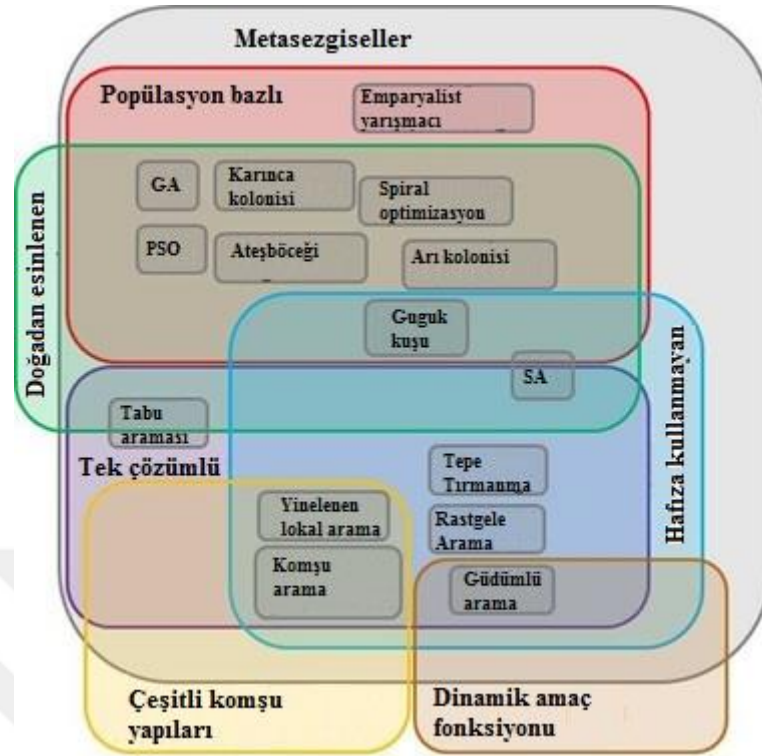


Şekil 2.5: Metasezgisel yöntemlerin çalışma algoritması [27].

Metasezgisel yöntemler oluşturulurken doğada gerçekleşen bir takım olaylardan yararlanılmıştır. Doğada gözlemlenen olaylar, matematiksel formüllere dökülerek metotlar oluşturulmuştur. Metasezgisel yöntemler; esinlendikleri kaynaklara, aramada kullandıkları çözüm sayısına, amaç fonksiyonu özelliğine, komşuluk yapısına, hafıza kullanımına göre sınıflandırılırlar [28]. Bu sınıflandırmayı aşağıdaki gibi alt sınıflara ayırabiliriz:

- Esinlenme kaynaklarına göre; doğadan esinlenen ya da doğadan esinlenmeyen,
- Aramada kullandıkları çözüm sayısına göre; tek çözüme ya da çözümlerin topluluğuna dayalı,
- Amaç fonksiyonuna göre; dinamik ya da statik amaç,
- Komşuluk yapısına göre; tek komşulu ya da çeşitli komşulu,
- Hafıza kullanımına göre; hafıza kullanan ve kullanmayan.

Şekil 2.6 ile metasezgisel algoritmaların sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Metasezgisel yöntemlerin sınıflandırılması [29].

2.2.1. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmaların oluşturulma mantığı evrim teorisinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Evrim teorisine göre, daha iyi gene sahip olan canlılar hayatta kalır, diğerleri elenir. Hayatta kalma süreci içerisinde çeşitli mutasyonlar, çaprazlamalar meydana gelir ve ortama uygun adaptasyonu sağlamış olanlar yaşamına devam eder. Genetik algoritmalarda da; yazılan kodlamalarla, evrim teorisindeki benzer bir şekilde amaç fonksiyonları oluşturularak yeni bireyler üretilir ve çözüm kümesi aranır.

Üretilen yeni bireyler, genlerini aldıkları anne-babalarından farklı özellikte olur ancak daha iyi genlere sahip olacağı garanti değildir. Daha iyi ya da daha kötü özelliklere sahip çocuklar da üretilir. Ancak daha iyi gene sahip olan çocuklar yaşamına devam eder.

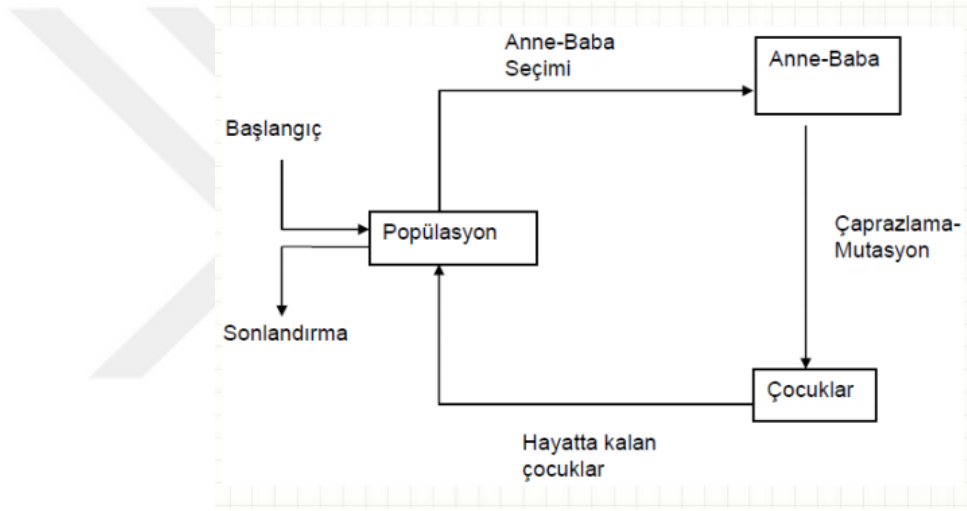
Genetik algoritma genel olarak aşağıdaki süreçlerden oluşur [30]:

1. Rastgele başlangıç popülasyonunun oluşturulması,
2. Popülasyondaki kromozomların amaca yönelik değerlerinin hesaplanması,
3. En iyi anne-baba seçimi, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin uygulanması,

4. Çaprazlama ve mutasyon sonucu oluşan yeni kromozomların değerlerinin bulunması,
5. Yeni oluşan kromozomlar arasından kötü olanların popülasyondan çıkarılması,
6. Yeni popülasyonda 3. adım ve sonrasında tekrar uygulanması.

Önceden belirlenen iterasyon sayısı tamamlandığında, sürekli sabit değerler elde edildiğinde veya amaçlanan çözüm bulunduğu anda algoritma işlemi sonlandırılır ve en son elde edilen değerler çözüm kümesi olur.

Genetik algoritma süreci Şekil 2.7'deki gibi işlemektedir.



Şekil 2.7: Genetik algoritma süreci [31].

Genetik algoritmalar; atama problemleri gruplandırma, tesis planlaması, bakım planlaması, atölye çizelgeleme, zaman çizelgeleme, ekonometrik tahmin, finansal planlama, kontrol sistemleri, mühendislik tasarımları, yapay zeka uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır [32].

Genetik algoritmayla kullanılarak yapılan bir çalışmada; şehir içi bir ana yolda trafik ışığı süresini kontrol ederek, araç çalışmasından kaynaklı emisyon miktarını minimuma düşürmek istenmiştir [33]. Yapılan trafik akış modelinde, araçların her an hızını arttırabileceği varsayılmıştır. Araçların hızlarını arttırmasına bağlı olarak kirli gaz emisyonundaki değişimler hesaplanmıştır. Aşağıda belirtilen eşitliklerle ise minimum emisyonun optimizasyonu amaçlanmıştır:

$$\min E_p \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{k=-20}^{20} N_{k,T,m} e_{p,k,t,m}(VSP_{(V_t, a_t)}) \quad (2.3)$$

Kısıtlama şartları ise aşağıdaki gibidir:

$$g_{\min} \leq g_i \leq g_{\max} \quad (2.4)$$

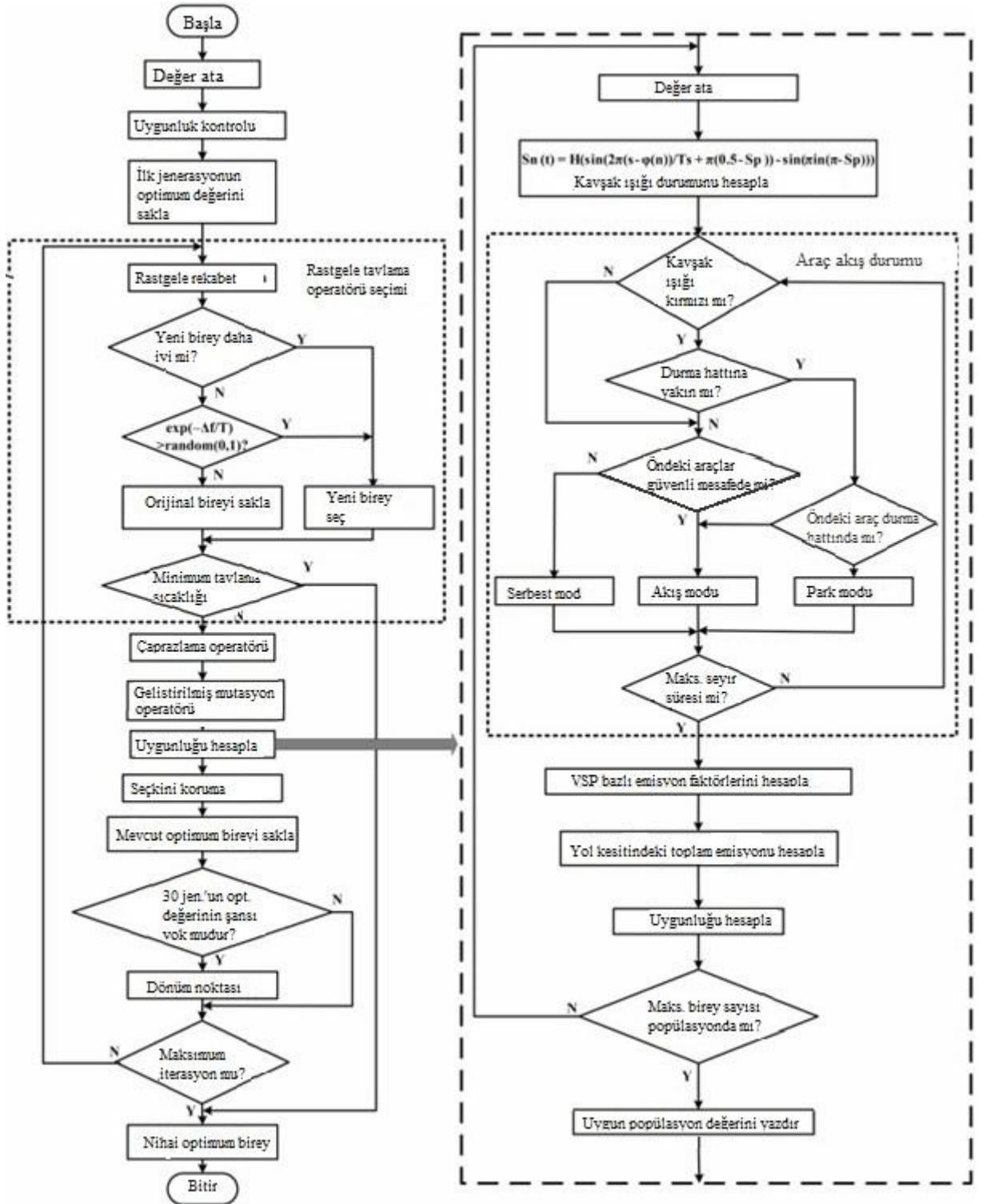
$$C_{\min} \leq C_i \leq C_{\max} \quad (2.5)$$

$$0 \leq \Phi_i \leq \Phi_{\max} \quad (2.6)$$

$$T = \sum_{k=-20}^{20} N_{k,T,m} \quad (2.7)$$

E_p , toplam kirli atığı; M , ana yoldaki toplam araç sayısını; T , tüm araçların çalışma süresini; k , araçların spesifik gücünü; $N_{k,T,m}$, araç spesifik güç değerlerinin sayısını (T saniye boyunca k spesifik güce sahip m numaralı araca ait); $VSP_{(V_t, a_t)}$, t saniye içerisindeki anlık spesifik araç gücünü; $e_{p,k,t,m}$, m numaralı aracın t saniye içerisindeki k spesifik araç gücünden kaynaklı p kirli emisyon değerini; g_i , yeşil ışık süresini; C_i , döngü süresini; Φ_i , bekleme süresini; g_{\min} ve C_{\min} minimum yeşil ışık süresi ve döngü süresini; g_{\max} , C_{\max} , Φ_{\max} , maksimum yeşil ışık süresini, döngü süresini ve bekleme süresini göstermektedir.

Trafik ışıklarına göre oluşturulan trafik akış modeli ve spesifik araç gücüne bağlı emisyon modeli, benzetilmiş tavlama ve genetik algoritma ile geliştirilerek oluşturulan yeni algoritmanın içine gömülmüştür. Yeni algoritma akışı ise Şekil 2.8'deki gibidir.



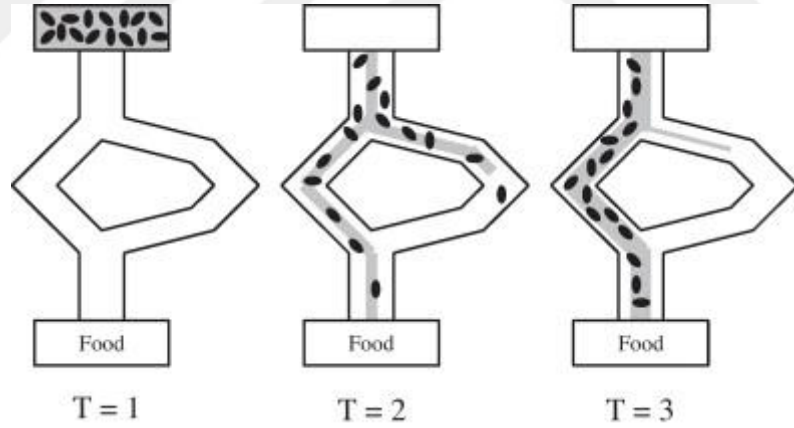
Şekil 2.8: Geliştirilmiş benzetilmiş tavlama genetik algoritması akış şeması [33].

C++ ve MATLAB programları yardımıyla, 3 kavşaklı bir ana yolda, 20 adet sıradan araç olduğu varsayılarak kodlanmıştır. Her popülasyonda 50 bireyden oluşmaktadır. Maksimum 500 iterasyon, çaprazlama oranı 0.9, mutasyon oranı 0.1 kabul edilmiştir. Bulunan sonuçlara göre;

kavşaklara sahip ana yollarda trafik ışıklarına yönelik bir kontrol stratejisi uygulandığında kirli emisyonun minimuma düşürülebileceği sonucuna varılmıştır.

2.2.2. Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca kolonisi algoritması; karıncaların, koloni yuvasından yiyecek kaynağına en kısa yoldan ulaşabilmesi için gösterdikleri davranışlar üzerine geliştirilmiştir [34]. Karıncalar tamamen kör olmalarına rağmen; salgıladıkları feromonlar sayesinde birbirlerini bulabilmektedirler. Önden giden karıncanın salgıladığı feromonu takip eden diğer karıncalar, koloni olarak hareket etmelerini sağlarlar. Keşfe çıkan karıncalar, yiyeceği bulup yuvaya geri dönerken feromon salgısı bırakır. Bu salgı zaman içerisinde buharlaşarak yoğunluğunu kaybeder. Eğer, yiyecek bulunan bir yol diğerlerinden daha kısaysa; zaman içerisindeki buharlaşma diğer yollardan daha az olacağı için feromon yoğunluğu daha fazla olacaktır. Diğer karıncalar ise yuvalarından çıktıklarında feromonun daha yoğun olduğu yolu; yani daha kısa olan yolu seçeceklerdir [35]. Şekil 2.9'da, uzun yolda feromon yoğunluğunun, kısa yola göre daha az olduğu ve bu nedenle karıncaların kısa yolu tercih ettiği grafiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.9: Feromon yoğunluğunun karınca kolonisi hareketine etkisi [36].

Karınca kolonisi algoritmasında; “karıncalar” olarak adlandırılan yapay bir popülasyon, rastgele yeni çözümler oluşturur. Çözüm için oluşturduğu her bir yoldan bilgiler toplar ve gelecek aramalar için bunu kullanır. Kodlama yapısı aşağıdaki gibi özetlenebilir [36]:

1. Parametreleri ve feromon izlerini başlat,
2. Sonlandırma şartı sağlanmadığı sürece aşağıdaki döngüyü(while döngüsü) tekrarla:
 - Karınca çözümü oluştur,

- Lokal arama yap (opsiyonel),
- Feromon izlerini güncelle,
- Döngüyü bitir.

Karınca kolonisi algoritması; sıralı sipariş, atölye planlama, mağaza planlama, makinelerdeki toplam gecikme, kaynak kısıtlı proje planlama, araç yönlendirme, araç trafiği planlama, nanoelektronik fiziksel tasarımda, iflas tahmini, veri madenciliği, nakit akışı indirgeme, enerji ve elektrik ağı tasarımı, yapı tasarımı gibi birçok alanda kullanılır.

Yapı tasarımı alanında kullanımına örnek olarak; basit eğilme etkisi altında düzensiz çelik çerçevelerin karınca kolonisi optimizasyonu ile tasarımı verilebilir [37]. İlgili çalışmada optimum dizayn, LRFD-AISC (Load and Resistance factor design of American Institute of Steel Construction) şartlarına göre formüle edilmiştir ve aşağıdaki algoritma aşamaları uygulanmıştır:

$$1. \quad \tau_0 = 1/W_{\min}; \quad (2.8)$$

τ_0 : Başlangıçtaki feromon miktarı,

W_{\min} : W kesiti tablosundan en küçük kesitli profillerin çerçeve elemanlarına atanmasıyla elde edilen minimum yapı ağırlığı,

2. Kolonideki her karınca, ilk çerçeve gruplarını tanımlar. Daha sonra W kesiti tablosundan karıncalar, kendi grubu için kesitler seçer. Bu seçim Denklem 2.9'daki gibi uygulanır:

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)] \cdot [\vartheta_{ij}]^\beta}{\sum_{j=1}^{NojSec} [T_{ij}(t)] \cdot [\vartheta_{ij}]^\beta} \quad (2.9)$$

P_{ij} : t anında i grubu için karıncaya atanan muhtemel j kesiti,

τ_{ij} : feromon miktarı,

ϑ_{ij} : i grubu için j kesitinin görünürlüğü,

β : lokal iz değerleri ve görünürlük etkisini meydana getiren parametre,

$$\vartheta_{ij} = 1/w_j \quad (2.10)$$

w_j : j kesitin birim ağırlığı,

Tüm karıncalar, ilk eleman grubu için W kesitlerini seçtiklerinde ilk tur sona erer.

- Her turun sonunda lokal güncelleme kuralı uygulanmıştır. Feromon konsantrasyonu, gerçek hayattaki buharlaşma göze alınarak, karıncalar tarafından seçilen her kesit için arama keşfini geliştirmek amacıyla düşürülmüştür.

$$\tau_{(ij)}(t) = \xi \tau_{ij}(t) \quad (2.11)$$

ξ : [0,1] aralığında, lokal güncelleme katsayısı, katsayısı 1 değerine yakınsa algoritma lokal optimum değerine ulaşabilir.

- Lokal güncelleme tamamlandıktan sonra, karınca (i+1) numaralı gruba W kesitleri seçmeye başlar. Bu atamadan sonra lokal güncelleme kuralı uygulanır ve bu süreç tüm karıncalar, kesitteki tüm elemanlara W kesitlerini seçene kadar devam eder. Süreç sonunda, her karınca W kesitleri ile yüklenir ve çerçeve için aday tasarımlar meydana gelir. Daha sonrasında çerçevenin tasarım şartlarına uyup uymadığının analizi yapılır. Tasarım şartlarına uymayan çözümler Denklem 2.12 eşitliğiyle cezalandırılır.

$$W_p = W(1 + C)^\varepsilon \quad (2.12)$$

W_p : cezalandırılmış çerçeve ağırlığı,

C: toplam kısıtlama ihlali,

ε : ceza katsayısı (sabit bir değer ya da çerçeve ağırlığına bağlı olabilir),

- Cezalandırma işleminden sonra global güncelleme uygulanır:

$$\tau_{ij}(t + 1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \rho[\lambda \cdot \Delta\tau_{ij}^+(t) + \Delta\tau_{ij}^r(t)] \quad (2.13)$$

$$\Delta\tau_{ij}^+(t) = 1/W_p^+(t) \quad (2.14)$$

$\Delta\tau_{ij}^+(t)$: en iyi karınca için t döngüsündeki feromon miktarı,

$W_p^+(t)$: en iyi karınca tarafından seçilen cezalı ağırlık,

ρ : global güncelleme katsayısı,

λ : sıralanmış karınca sayısı,

$\Delta\tau_{ij}^r(t)$: t döngüsünde, sıralanmış karıncalar için toplam feromon miktarı,

$$\Delta\tau_{ij}^r(t) = \sum_{\mu=1}^{\lambda} \Delta\tau_{ij}^{\mu}(t) \quad (2.15)$$

μ =karınca sırası (1 ve λ arasında),

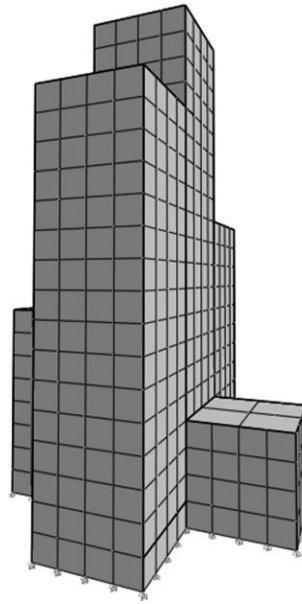
$\Delta\tau_{ij}^{\mu}(t)$: t döngüsünde, μ sırasındaki karıncanın feromon miktarı,

$$\Delta\tau_{ij}^{\mu}(t) = (\lambda - \mu)/W_p^{\mu} \quad (2.16)$$

W_p^{μ} : μ sıralı karıncanın seçtiği cezalı muhtemel dizayn ağırlığı.

6. Sonlandırma kriterleri veya önceden belirlenen iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar 2. maddeden 5. maddeye kadar döngü tekrar eder (2. ve 5. maddeler dahil).

Yukarıda algoritma aşamaları özetlenen çalışmanın sonucunda; karınca kolonisi algoritması kullanılarak, eğilme etkisi altında ve eğilme etkisi olmadan minimum çerçeve ağırlıkları bulunmuştur. Eğilme etkisi nedeniyle, orta büyüklüklerdeki simetrik çerçevede %9, simetrik olmayan çerçevede %12 ağırlık artışı gözlemlenmiştir. Geniş açıklıklı 20 katlı (Şekil 2.10), simetrik olmayan çerçevelerde ise %26 ağırlık artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.10: 20 katlı asimetrik çerçeveye sahip binanın 3D görünüşü [37].

2.2.3. Parçacık Sürü Algoritması

Parçacık sürü algoritması, temel olarak kuşların sürü halinde uçmasından ve balık sürüsünden esinlenerek oluşturulmuştur [38]. Sürüler halinde hareket eden hayvanların, yiyecek bulma ve tehlikelerden korunma durumlarında gösterdikleri rastgele davranışların amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. Parçacık sürü algoritmasında amaç, sürüye ait diğer elemanların, konumu en iyi olan elemana yakın hareket etmesidir. Bu sayede; her birey, konumunu sürekli iyileştirir ve en iyi konumun sağlanmasına daha da yaklaşılır.

Yemek arayan bir kuş sürüsünü hayal edelim. Ancak, bu sürü tarafından yemek kaynağının nerede olduğu bilinmemektedir. Eğer her kuş kendi başına yemek ararsa, bir düzensizlik ve zaman kaybı olacaktır. Bu nedenle en iyi yaklaşım, yiyeceğe en yakın kuşları takip ederek olacaktır [39]. Bu algorithmada her bireyin bir pozisyonu ve hızı vardır. Bireyler en iyi pozisyonlarını ve sürüdeki en iyi pozisyonları hatırlarlar. Her birey, çözüm uzayında kendi hızıyla tanımlanan bir yörünge boyunca hareket eder ve yakın komşularının keşfettiği en iyi konuma doğru yönelirler [40]. Şekil 2.11’de kuşların sürü halinde uçarken gösterdikleri dağılım fotoğraflanmıştır.



Şekil 2.11: Kuş sürüsünün uçuşu sırasındaki davranışı [41].

Parçacık sürü algoritması prensipleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [42]:

1. Her bireyin bir konum ve hızı vardır,
2. Her birey konumunu, amaç fonksiyonu için değerini ve en iyi geçmişteki konum ve değerini bilir,

3. Her birey, her konumda bir komşuluk kurabilir,
4. Her birey, sürü içindeki en iyi konumu ve değerini bilir,
5. Her t iterasyonunda, bireyin davranışı üç alternatif içinden gerçekleşir:
 - Mevcut keşif düzenine devam ederek,
 - Önceki en iyi konumuna geri dönerek,
 - Tüm sürü içerisindeki en iyi değere giderek.

Bireyin davranışı Denklem 2.17 ve Denklem 2.18'deki gibi formülize edilir:

$$\vartheta_{i,t+1} = c_1\vartheta_{i,t} + c_2(p_{i,t} - x_{i,t}) + c_3(p_{v_{i,t}} - x_{i,t}) \quad (2.17)$$

$$x_{i,t+1} = x_{i,t} + \vartheta_{i,t+1} \quad (2.18)$$

$x_{i,t}$: i bireyinin t iterasyonundaki konumu,

$\vartheta_{i,t}$: i bireyinin t iterasyonundaki hızı,

$p_{i,t}$: i bireyinin t iterasyonuna kadarki en iyi konumu,

$p_{v_{i,t}}$: tüm bireyler arasında t iterasyonuna kadarki en iyi konum,

c_1, c_2, c_3 : çözümü değiştiren ağırlık katsayıları.

Parçacık sürü algoritması, yapay sinir ağları, insan hastalıkları tespiti, bilgisayar destekli üretim sistemleri, reaktif güç ve voltaj kontrolü, hibrit/elektrikli araç sektörü, biyoloji, oyun sektörü, robot uygulamaları, karar verme, inşaat sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır [43].

Parçacık sürü algoritmasının yapı tasarımı kullanımına örnek olarak, makas boyutlandırma tasarımı verilebilir [44]. Önceden belirlenmiş gerilme ve deplasman şartları altında uygulanan algoritmada, minimum ağırlığa ve optimum kesitlere sahip makas tasarımları yapılmış ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Optimizasyon uygulamasının yapıldığı bir başka çalışmada ise; bir baraj yapısının güvenlik açısından izlenmesi için, sinirsel ağların ağırlıkları parçacık sürü optimizasyonuna dönüştürülmüştür [45]. Daha sonra ise kooperatif parçacık sürü optimizasyonuna dönüştürülerek; hesaplanması kolay, hızlı ve yüksek doğruluğa sahip bir baraj güvenliği izleme metodu sağlanmıştır.

Betonarme tasarımıyla ilgili yapılan bir başka çalışmada ise; AS3600 (Australian Standart 3600) şartnamesi şartları altında optimum maliyete sahip kiriş tasarımı, parçacık sürü algoritması yardımıyla yapılmıştır [46].

2.2.4. Tabu Arama Algoritması

Tabu arama algoritması, lokal çözüm arama sürecine rehberlik eden bir metasezgisel yöntemdir. Tabu aramanın ana özelliklerinden biri hafızasını uyarlayarak kullanmasıdır. Tabu arama ve hibrit tabu arama algoritmaları; üretim planlama ve programlama, kaynak dağılımı, şebeke tasarımı, tedarik zinciri yönetimi, iş süreci tasarımı, tahminde bulunma, moleküler tasarım, yapısal tasarım gibi birçok alanda kullanılmaktadır [47].

Tabu kelimesini dokunulması, kullanılması, eleştirilmesi, değiştirilmesi yasak olarak kabul edilen davranış, kavram ya da nesnelere olarak tanımlayabiliriz. Tabu arama algoritmasında da; çözüm aranırken, daha önceden elde edilen çözüm değerini verecek kriterlerin kullanılmasını yasaklar. Böylelikle algoritma, yeni çözüm uzayına doğru hareket eder. Ancak bu yasak sürekli devam etmez, tabu olmaktan çıkma şartı sağlandığında, önceden hafızaya alınan hareket tekrar edebilir [48].

Tabu arama algoritması genel olarak aşağıdaki gibi işler [49]:

1. $k = 0$ başlangıç iterasyonu ve $x_{initial}$ başlangıç çözümü oluşturulur. İlk oluşturulan başlangıç çözümü, $k = 0$ iterasyonu için aynı zamanda en iyi ve mevcut çözümdür:

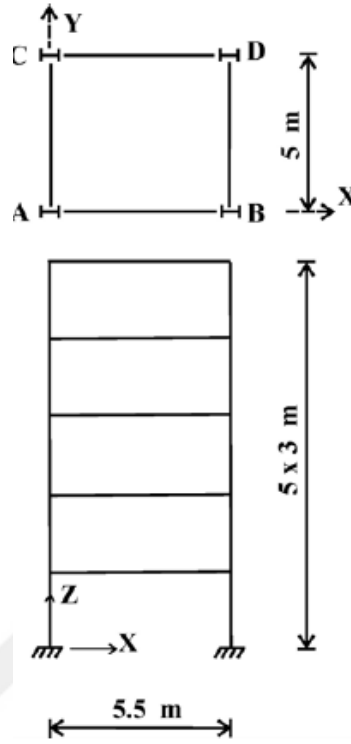
$$x_{initial} = x_{current} = x_{best} \quad (2.19)$$

2. Rastgele x_{trial} isimli çözümler, mevcut komşu çözümler arasında üretilir ve $S(x_{current})$ isimli, nt adet çözüme sahip, mevcut çözüm kümesi oluşturulur. Bu S kümesi içindeki değerler, amaç fonksiyonuna göre sıralanır. x_{trial}^i , i numaralı çözümü ifade eder. Denklem 2.20, S kümesindeki en iyi çözümü ifade eder.

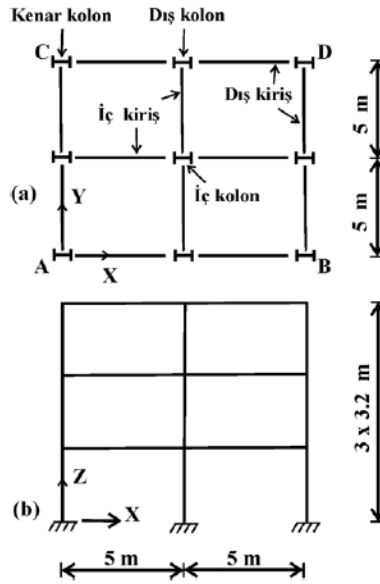
$$1 \leq i \leq nt \text{ ve } x_{trial}^1, \quad (2.20)$$

3. Eğer amaç fonksiyonumuz en küçük değeri bulmaksa; $x_{trial}^i > x_{best}$ ise direkt 4. aşamaya geçilir, aksi halde yeni x_{best} değerimiz x_{trial}^i değeri olur ve 4. Aşamaya geçilir.
4. x_{trial}^i değerinin tabu listesinde olup olmadığı kontrol edilir, eğer tabu listesinde yoksa $x_{current} = x_{trial}^i$ olarak tabu listesine alınır ve 7. aşamaya geçilir. Eğer zaten tabu listesindeyse 5. aşamaya geçilir.
5. x_{trial}^i değerinin asıl amacı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Eğer büyük amacı sağlıyorsa, tabu kısıtlamaları geçersiz sayılır, büyük amaç aşaması güncellenir. $x_{current} = x_{trial}^i$ olarak kabul edilir ve 7. aşamaya gidilir. Eğer büyük amacı sağlamıyorsa $i = i + 1$ yapılır ve 6. aşamaya geçilir.
6. Eğer i değeri, nt toplam çözüm sayısını geçerse 7. aşamaya geçilir, aksi halde 4. aşamaya geri dönülür.
7. Bu aşamada durdurma kriteri kontrol edilir. Eğer çözüm değeri tatmin ediciyse algoritma durur, aksi halde $k = k + 1$ iterasyonuna geçilir ve 2. aşamaya dönülür.

Yapı sektöründe bir çalışmada ise; uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımı tabu arama yöntemiyle yapılmıştır [50]. İlgili çalışmada, belli kısıtlamalar altında minimum ağırlığa sahip çerçeve tasarımını bulmak amaçlanmıştır. 40 ve 63 elemanlı iki uzay çelik çerçevenin tasarımı, önce tabu arama algoritması ile, sonra da genetik algoritma ile çözümlenerek karşılaştırılmıştır. 40 elemanlı uzay çerçeve için; genetik algoritma ile yapılan tasarımda min. 12460 kg'lık çerçeve elde edilirken; tabu arama algoritması ile 10728 kg'lık çerçeve elde edilmiştir. 63 elemanlı uzay çerçeve tasarımında ise; genetik algoritma ile minimum 20250 kg değeri elde edilirken tabu arama algoritmasında 18008 kg değeri elde edilmiştir. Şekil 2.12'de 40 elemanlı uzay çerçevenin, Şekil 2.13'te 63 elemanlı uzay çerçevenin plan ve kesit görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.12: 40 elemanlı uzay çerçevenin plan ve kesit görüntüsü [50].



Şekil 2.13: 63 elemanlı uzay çerçevenin plan ve kesit görüntüsü [50].

2.2.5. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Algoritma

Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması, öğretmenin öğrenciler üzerindeki etkisinden yararlanarak, çözüm popülasyonunu kullanarak çözüme ulaşmayı hedefler.

Algoritmada, öğretmenin tecrübesinden yararlanılarak öğrencilerin bilgi birikiminin artması, böylelikle optimum sonuca ulaşılması amaçlanmaktadır. Öğretmenin ve öğrencilerin kalitesi ne kadar yüksekse öğrenme miktarı yükselir, sınıf kalitesi artar ve algoritma daha iyi sonuçlar verir. Öğretme-öğrenme tabanlı algoritma, “öğretmen aşaması” ve “öğrenci aşaması” olmak üzere iki kısımdan oluşur. “Öğretmen aşaması”, öğretmenden öğrenmeyi, “öğrenci aşaması” ise öğrencilerin birbirleri ile etkileşiminden kaynaklı öğrenmeyi ifade eder [51]. Öğretmen ve öğrenci aşamalarında aşağıdaki eşitlikler kullanılır [52]:

Öğretmen aşamasında, öğretmenin bilgi birikimini kullanarak yeni öğrenci değeri elde etmek amacıyla Denklem 2.21 kullanılır:

$$X'_i = X_i + r_i(X_t - T_f \times X_{mean}) \quad (2.21)$$

X'_i : yeni çözüm değerini,

i : herhangi bir iterasyon numarasını,

X_i : mevcut çözüm değerini (eski öğrenci),

r_i : [0,1] aralığında rastgele bir reel sayıyı,

X_t : öğretmenin değerini,

T_f : öğretim faktörünü (değeri 1 ya da 2'dir),

X_{mean} : sınıfın ortalama değerini ifade eder.

Yukarıdaki Denkleme göre; yeni elde edilen çözüm değeri, mevcut çözüm değerinden iyiyse; mevcut çözüm değeri olarak kaydedilir.

Öğrenci aşamasında; rastgele iki öğrenci, öğretmen aşamasında oluşturulan sınıftan seçilir, eğer rastgele seçilen X_a öğrencisi X_b öğrencisinden iyiyse Denklem 2.22 kullanılır:

$$X'_i = X_i + r_i(X_a - X_b) \quad (2.22)$$

Eğer X_b öğrencisi X_a öğrencisinden iyiyse Denklem 2.23 kullanılır:

$$X'_i = X_i + r_i(X_b - X_a) \quad (2.23)$$

Yukarıdaki öğrenci aşaması denklemlerinde de;

X'_i : yeni çözüm değerini,

i : herhangi bir iterasyon numarasını,

X_i : mevcut çözüm değerini (eski öğrenci),

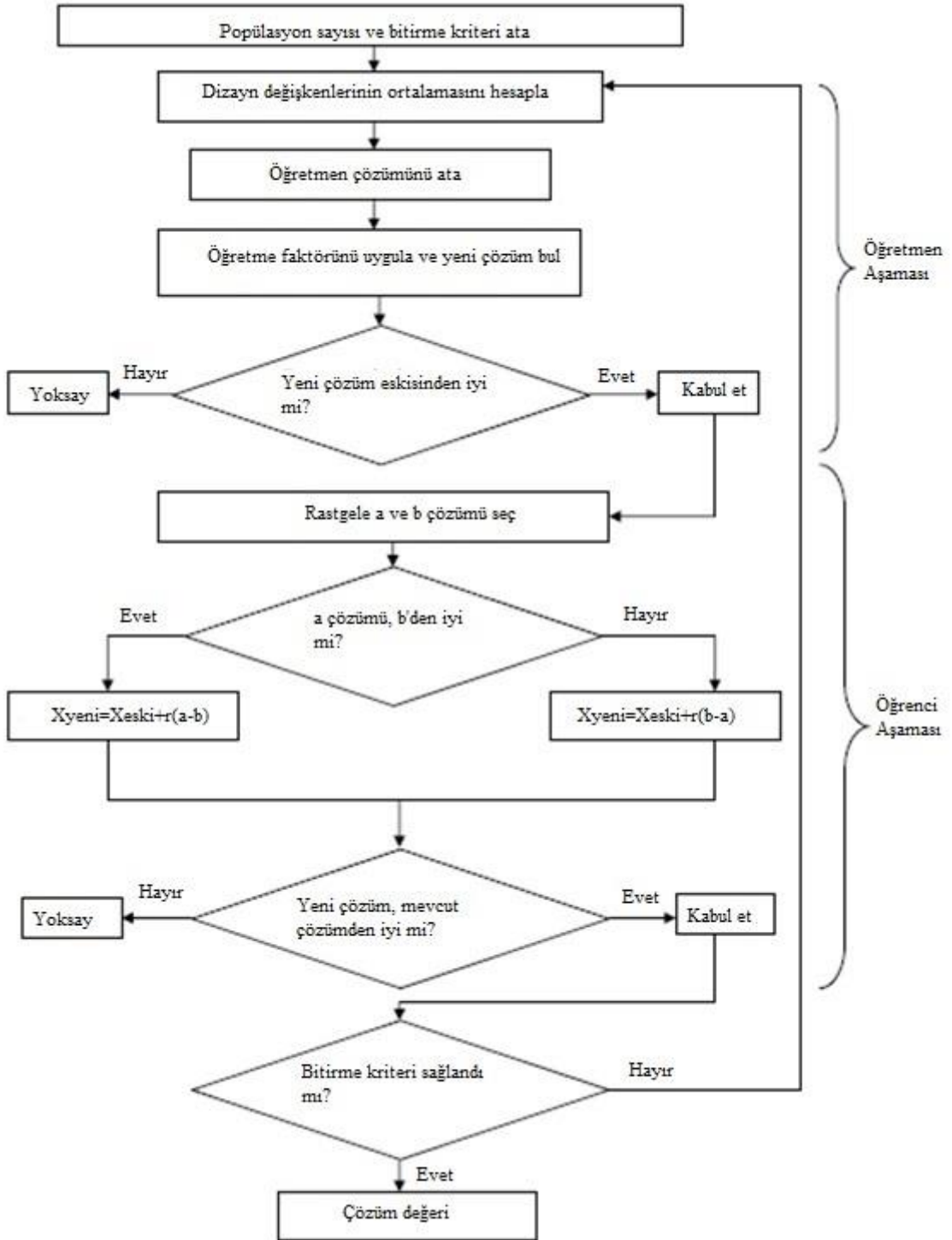
r_i : $[0,1]$ aralığında rastgele bir reel sayıyı,

X_a ve X_b : öğretmen aşamasında oluşturulan sınıftan seçilen rastgele iki öğrencinin değerlerini ifade eder.

Yukarıdaki öğrenci aşaması denklemlerinde, öğrencilerin birbirleri ile iletişime geçerek bilgilerinin güncelleme amaçlanmaktadır.

Öğrenci aşamasında bulunan yeni çözüm değeri, mevcut çözüm değerinden iyiyse; mevcut çözüm değeri olarak kaydedilir. Öğretmen ve öğrenci aşamaları, durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar tekrar eder ve durdurma kriterleri sonunda elde edilen çözüm değeri, amaç değerimiz olur.

Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması Şekil 2.14'teki gibi özetlenebilir:

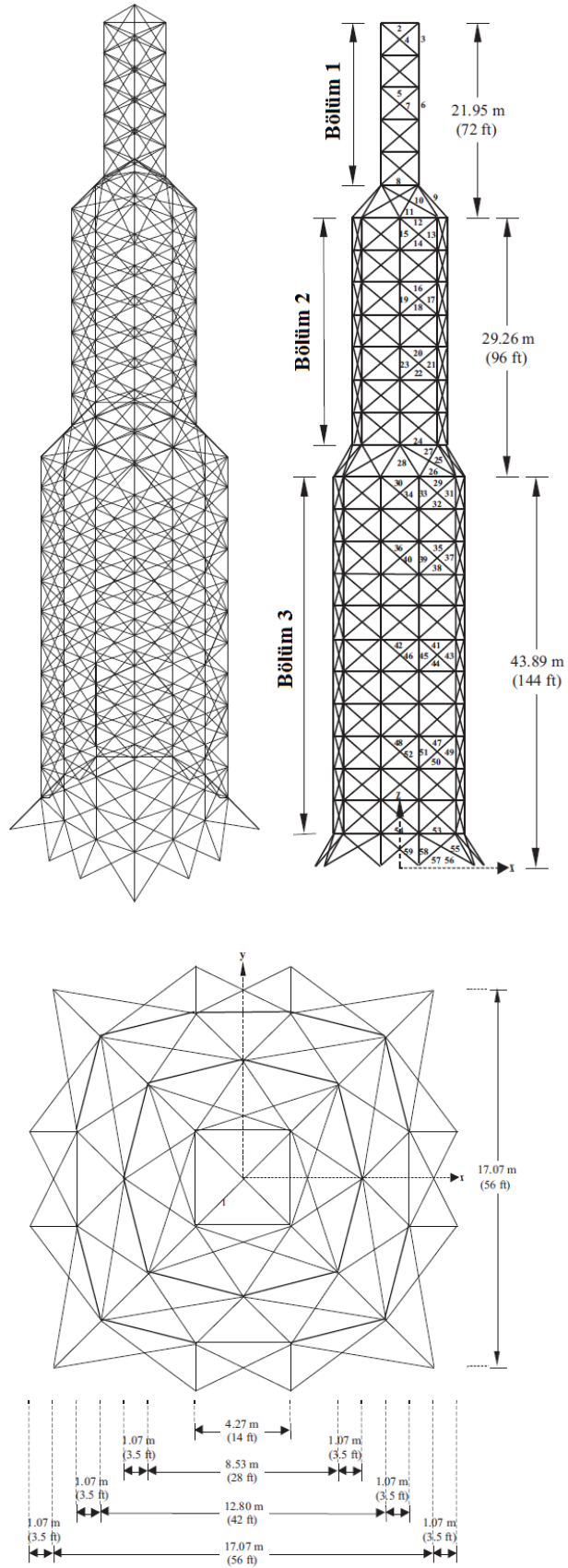


Şekil 2.14: Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması akış şeması [51].

Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon; mekanik tasarım, kümeleme, yapısal makas tasarımı, biyoinformatik, ağ dağılımı, enerji yönetimi, maliyet ve emisyon minimizasyonu, çelik çerçeve tasarımı, hidrotermal planlama, veri madenciliğinde sinir ağı sınıflandırma, sabit mesnetli yapı tasarımı gibi birçok alanda kullanılmıştır [53]. Yapı tasarımı ile ilgili yapılan bir çalışmada,

öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasıyla uzay kafes kule yapısının optimum boyutlandırılması amaçlanmıştır [54]. İlgili çalışmadan önce de tasarımı zaten yapılmış 942 elemanlı uzay çelik kafes kulenin (Şekil 2.15) tekrar tasarımı, AISC-ASD (American Institute of Steel Construction- Allowable Stress Design) yönetmeliği şartlarına göre öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması ve SAP2000 statik tasarım programı yardımıyla yapılmıştır. Bulunan sonuçlara göre; daha önceki literatür çalışmalarına yakın değerler bulunmuştur, bunun yanında öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon ile tasarım sonucunun yaklaşık %1 daha hafif ağırlıkta olduğu gözlemlenmiştir.





Şekil 2.15: 942 elemanlı uzay çelik kulanin sırasıyla 3D, yan ve üst görüşleri [54].

2.2.6. Çiçek Tozlaşma Algoritması

Çiçek tozlaşma algoritması, çiçekli bitkilerin tozlaşmasından yararlanılarak oluşturulmuştur. Çiçekli bitki tozlaşması ağırlıklı olarak kuş, arı, kelebek, sinek gibi hayvanların polenleri başka çiçeklere taşımasıyla oluşur. Bazı tozlaşmalar ise; yağmur, rüzgar gibi hayvansal olmayan etkenler sayesinde sağlanır. Canlılar tarafından gerçekleşen tozlaşmalara “biyotik”, canlılar tarafından gerçekleşmeyen tozlaşmalara ise “abiyotik” denilmektedir.

Tozlaşma şekli; çapraz tozlaşma ve kendi kendine tozlaşma (öz tozlaşma) olarak da ayrılabilir. Çapraz tozlaşma, farklı bitkilere ait çiçekler arasında; kendi kendine tozlaşma ise aynı bitkinin farklı çiçekleri arasında gerçekleşir. Çapraz tozlaşmada polenler uzun mesafeler kattığı için “küresel tozlaşma”, kendi kendine tozlaşmada ise polenler yakın çevrede hareket ettiği için “yerel tozlaşma” olarak adlandırılmaktadır. Küresel tozlaşma genellikle biyotik etkenler sayesinde, yerel tozlaşma ise abiyotik etkenler yardımıyla gerçekleşir.

“Levy uçuşu” ise; doğadaki hayvanların, genellikle yiyecek bulma amacıyla, uzun mesafe seyahatleri sırasında izlediği rotayı ifade etmektedir.

Yukarıdaki bilgilere dayanarak çiçek tozlaşma algoritması aşağıdaki kurallara göre oluşturulmuştur [55]:

1. Biyotik ve çapraz tozlaşma, Levy uçuşu yapan canlılar tarafından yapılan küresel tozlaşma olarak kabul edilmiştir.
2. Abiyotik ve kendi kendine tozlaşma, yerel tozlaşma olarak kabul edilmiştir.
3. Polenin tek bir çiçek türüne gitme sadakatı, iki çiçeğin bezerlik oranı olarak dikkate alınabilir.
4. Yerel ve küresel tozlaşma, [0,1] aralığında bir değişken yardımı ile kontrol edilir.

Çiçek tozlaşma algoritması aşağıdaki aşamalar ile formülize edilir. Küresel tozlaşma Denklem 2.23’te, yerel tozlaşma Denklem 2.24’te, Levy uçuşu Denklem 2.25’te verilmiştir.

$$P_i^{t+1} = P_i^t + LF(G_B - P_i^t) \quad (2.24)$$

$$P_i^{t+1} = P_i^t + \varepsilon(P_j^t - P_k^t) \quad (2.25)$$

$$LF = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \varepsilon^{-1.5} e^{-1/2\varepsilon} \quad (2.26)$$

P_i^t : i numaralı polen çözümünü,

G_B : mevcut en iyi çözümü,

LF : Levy uçuşundaki adım büyüklüğünü,

P_j^t, P_k^t : Benzer çiçekli bitkideki farklı çiçeklerin polenlerini,

ε : $[0,1]$ aralığında rastgele bir sayıyı ifade etmektedir.

Çiçek tozlaşma algoritması meteorolojik tahminde, boyutlandırma ve yerleştirme problemlerinde, ekonomik tahminlerde, enerji sistemleri tasarımında, çizelgeleme problemlerinde, yapı tasarımında kullanılmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde; betonarme malzemelerinin(beton ve çelik donatı) üretim aşamalarından kaynaklı CO₂ emisyonunu minimum olarak verecek şekilde kolon, kiriş ve temel tasarımlarının TLBO algoritması ve FPA ile yapılması anlatılmıştır. Algoritmalar için ilgili kodlar MATLAB programına yazılmıştır. MATLAB programına yazılan kodlar, hem geleneksel beton kullanılması durumu hem de geopolimer beton kullanılması durumları için ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

3.1. DÖRTGEN BETONARME KOLON TASARIMI

Tasarım aşamaları, sırasıyla başlıklara ayrılarak anlatılmıştır.

3.1.1. Sabit Değerler

Dörtgen şekilli betonarme kolona ait malzeme özellikleri ve etkiyen yükler aşağıdaki Tablo 3.1'deki gibidir:

Tablo 3.1: Betonarme kolon özellikleri ve etkiyen yükler.

Beton Sınıfı	Donatı Çeliği Sınıfı	Paspayı	Tasarım Momentleri	Tasarım Normal Kuvveti
C25/30	B420C	4 cm	M _{xd} =150 kNm	N _d =1000 kN
			M _{yd} =600 kNm	

Kolon tasarımı yapılırken; betonun karakteristik basınç dayanımı olan 25 N/mm² değeri 1.5 güvenlik katsayısına, donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı olan 420 N/mm² değeri ise 1.15 güvenlik katsayısına bölünerek tasarım basınç ve akma dayanımları elde edilmiştir.

Yukarıdaki bilgiler, MATLAB tasarım kodları içerisine “SABİT DEĞERLER” başlığı altında Şekil 3.1'deki gibi yazılmıştır:

```

%SABİT DEĞERLER
%Beton sınıfı: C25/30
%Donatı çeliği sınıfı: B420C
%Paspayı: 4 cm
%Tasarım moment değerleri Mxd=150 kNm, Myd=600 kNm
%Tasarım normal kuvveti Nd=1000 kN
%fck=25 N/mm2 beton karakteristik basınç dayanımı
%fcd=25/1.5=16.67 N/mm2 beton tasarım basınç dayanımı
%fyd=420/1.15=365.22 N/mm2 çelik tasarım akma dayanımı

Mxd=600;
Myd=150;
Nd=1000;
fck=25;
fcd=16.67;
fyd=365.22;

```

Şekil 3.1: Dörtgen betonarme kolon sabit değerleri.

TLBO algoritması gereğince iterasyon ve popülasyon sayıları aşağıda gösterildiği gibi, MATLAB kodlarına “SABİT DEĞERLER” başlığı altına eklenmiştir. Ayrıca, kodlarımız mantıksız kolon boyutları ataması yapmaması için maksimum kolon boyutları 70 cm olarak Şekil 3.2’deki gibi belirlenmiştir:

```

%Algoritma parametreleri
%itersay: maksimum iterasyon sayısı
%ps: popülasyon sayısı

itersay=1000;
ps=20;

%bmaks=700 mm, hmaks=700 mm olsun
bmaks=700; hmaks=700;

```

Şekil 3.2: Dörtgen betonarme kolon sınırlamaları.

3.1.2. Rastgele Kolon Boyutları Atanarak Çözüm Kümelerinin Bulunması

For döngüsü içerisinde, rastgele sayı atamaya yarayan “rand” komutu kullanılarak, önceki başlıkta belirlediğimiz popülasyon sayısı kadar rastgele kolon boyutu atamaları yapılmıştır. Bu atama yapılırken TBDY-2018 yönetmeliğine gereğince, atanacak boyutların en az 25 cm olması göz önüne alınmıştır. Rastgele kolon boyutları ataması yapıldıktan sonra; AYDIN/AKGÜN/TOPÇU tabloları yardımıyla, gerekli donatı alanları bulunmuştur. “rand” komutu bize tam sayı vermediği için “ceil” kodu yardımıyla bulunan sayılar, tam sayıya

yuvarlanmıştır. Kolon donatısı dağılımında, her kenara eşit olarak dağıtılmış donatı tasarımı seçilmiştir.

For döngümüzün başlangıcı Şekil 3.3'teki gibi kodlanmıştır:

```
%RASTGELE KOLON BOYUTLARI ATANARAK ÇÖZÜM KÜMELERİNİN BULUNMASI
for i=1:ps
    b=250+(bmaks-250)*rand;
    h=250+(hmaks-250)*rand;

    %b ve h değerlerinin cm mertebesine düşürülüp yukarı yuvarlanıp mm
    cinsinden yazılması
    b=ceil(b/10)*10;
    h=ceil(h/10)*10;
```

Şekil 3.3: Rastegele dörtgen betonarme kolon boyutları atama kodları.

Donatı alanını bulmak için, ilgili tablolar Denklem 3.1, Denklem 3.2 ve Denklem 3.30 yardımıyla bulunmuştur:

$$n = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} \quad (3.1)$$

$$m_x = \frac{100 \times M_{xd}}{b \times h^2 \times f_{cd}} \quad (3.2)$$

$$m_y = \frac{100 \times M_{yd}}{h \times b^2 \times f_{cd}} \quad (3.3)$$

N_d , tasarım normal kuvvetini; f_{cd} , beton tasarım basınç dayanımını; M_{xd} , x eksenindeki tasarım moment değerini; M_{yd} , y eksenindeki tasarım moment değerini; b ve h, kolon en ve boyunu ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitliklere göre önce n değerine göre ilgili tabloya gidilir, m_x ve m_y değerlerinin kesiştiği değer, alan bulma formülünde kullanacağımız w değeri olur. For döngüsü devamında Şekil 3.4'te, yukarıda belirtilen formüller kodlanmıştır:

```

%AYDIN/AKGÜN/TOPÇU tablolarına göre çözüm yapılacaktır:
n=(Nd*10^3)/(b*h*fcd); %Nd geğeri 10^3 ile çarpılarak N birimine
dönüştürülmüştür
mx=(100*Mxd*(10^6))/(b*(h^2)*fcd); %Mxd değeri 10^6 ile çarpılarak Nmm
birimine dönüştürülmüştür
my=(100*Myd*(10^6))/((b^2)*h*fcd); %Myd değeri 10^6 ile çarpılarak Nmm
birimine dönüştürülmüştür

```

Şekil 3.4: Betonarme kolon tasarımı için abak formülleri.

Yukarıdaki kodlardan sonra “AYDIN/AKGÜN/TOPÇU [56]” tabloları eklenmiştir. Ancak belirtilen tablo değerleri uzun olduğu için, çalışmanın sonuna ayrıca ek olarak konulmuştur. “n” değeri, “ceil” komutuyla aşağı ve yukarı yuvarlanarak, enterpolasyon yardımıyla iki ayrı “w” değeri elde edilmiştir. Güvenli tarafta kalmak için “w” değeri yüksek olan sonuç seçilmiştir. Bu durum da Şekil 3.5’teki gibi kodlanmıştır:

```

n1=ceil(10*n);
n2=floor(10*n);
n1=n1/10;
n2=n2/10;
if n1==0.0
    wtablo=w00;
elseif n1==0.1
    wtablo=w01;
elseif n1==0.2
    wtablo=w02;
elseif n1==0.3
    wtablo=w03;
elseif n1==0.4
    wtablo=w04;
elseif n1==0.5
    wtablo=w05;
elseif n1==0.6
    wtablo=w06;
elseif n1==0.7
    wtablo=w07;
elseif n1==0.8
    wtablo=w08;
elseif n1==0.9
    wtablo=w09;
end
w1=interp2(mxekseni,myekseni,wtablo,mx,my);
if n2==0.0
    wtablo=w00;
elseif n2==0.1
    wtablo=w01;
elseif n2==0.2
    wtablo=w02;
elseif n2==0.3
    wtablo=w03;
elseif n2==0.4
    wtablo=w04;
elseif n2==0.5
    wtablo=w05;
elseif n2==0.6
    wtablo=w06;
elseif n2==0.7
    wtablo=w07;
elseif n2==0.8
    wtablo=w08;
elseif n2==0.9
    wtablo=w09;
end
w2=interp2(mxekseni,myekseni,wtablo,mx,my);
w=0;
if w2>w1
    w=w2;
else
    w=w1;
end

```

Şekil 3.5: Betonarme kolon tasarımı için abak seçim kodları.

Yüksek olan w değeri bulunduktan sonra Denklem 3.4 yardımıyla donatı alanı bulunmuştur:

$$A_{st} = \frac{w}{100} \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \times b \times h \quad (3.4)$$

Donatı alanını veren formül Şekil 3.6'daki gibi kodlara eklenmiştir:

```
%Donatı alanının bulunması (mm2)
Ast=(w/100) * (fcd/fyd) *b*h;
```

Şekil 3.6: Betonarme kolon donatı alanı bulma kodu.

3.1.3. Amaç Fonksiyonu

Kodlamadaki amacımıza göre; birim miktar beton üretim aşamasından ve çelik üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarını, tasarım çözümleri kümesindeki beton ve çelik metrajlarıyla çarpıp, yapı elemanı imalatı nedeniyle ortaya çıkan toplam emisyonunun bulunması gerekmektedir. Toplam emisyon miktarının minimum olduğu donatı alanı ve beton metreküpü amaç değerleridir.

Tablo 3.2'de belirtilen hammaddelere sahip geleneksel Portland çimentolu betondan ve geopolimer betondan kaynaklı emisyon miktarları kodlamada sabit değerler olarak yer almıştır. Geleneksel beton üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı 316 kg/m³, geopolimer beton üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ise 115 kg/m³ olarak tanımlanmıştır. Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ise 0.76 kg/kg olarak kabul edilmiştir [57].

Tablo 3.2: Geleneksel Portland çimentolu ve geopolimer betonların CO₂ emisyonları [58].

Bileşen	Bileşen Ağırlıkları (kg/m³)	
	Geleneksel Portland Çimentolu Beton	Geopolimer Beton
Çimento	340	
Cüruf		230
Uçucu Kül		57
Reaktif Atık		83
Na Silikat (%37)		33
NaOH (%50)		24
İyonsuz Su	170	99
Çakıl	1878	1878
Hammadde Kaynaklı CO₂ Emisyonu (kg/m³)	316	115

h=3 m uzunluğunda bir kolon tasarımı yapıldığı varsayılmıştır. Yapılacak tasarımlarda beton kaynaklı ve boyuna donatı kaynaklı emisyon miktarları Şekil 3.7'deki gibi kodlanmıştır. "GBE" harfleriyle kodlanan değere ilk olarak geleneksel beton birim emisyon miktarı girilip program çalıştırılmıştır, daha sonra geopolimer beton birim emisyon miktarı girilip program çalıştırılmıştır. Sonuçlar CM isimli çözüm matrisi içerisine kaydedilmiştir.


```

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ

%Geleneksel betonun üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%GBE=316 kg/m3
GBE=316;

%Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon
miktarı
%DE=0.76 kg/kg
DE=0.76;

%Betonarme donatısı özgül ağırlığı 7850 kg/m3
doa=7850;

%h=3000 mm uzunluğunda bir kolon imalatı sonucunda ortaya çıkacak CO2
emisyon miktarını bulalım (kg)
hk=3000;

%Beton kaynaklı (kg):
BK=((b*h-Ast)/10^6)*(hk/1000)*GBE;

%Donatı kaynaklı (kg):
DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;

%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM(1,i)=b;
CM(2,i)=h;
CM(3,i)=Ast;
CM(4,i)=BK;
CM(5,i)=DK;
CM(6,i)=TE;

```

Şekil 3.7: Betonarme kolonda emisyon bulma kodları.

3.1.4. Tasarım Şartlarının Kontrolü

TS500:2000 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre, yönetmelik şartları kodlanmıştır. Uygulanan yönetmelik şartları Tablo 3.3'teki gibidir:

Tablo 3.3: Kolon için TS500:2000 ve TBDY-2018'e göre tasarım şartları.

Kolon İçin TS500:2000 ve TBDY-2018 Yönetmelik Şartları	
1.	$N_d \leq 0,9 \times f_{c_d} \times A_c$
2.	$N_d \leq 0,4 \times f_{c_k} \times A_c$
3.	$M_{x_d} \geq (15+0.03h) \times N_d$
4.	$M_{y_d} \geq (15+0.03b) \times N_d$
5.	$b \geq 250 \text{ mm}$
6.	$h \geq 250 \text{ mm}$
7.	$b \times h \geq 7500 \text{ mm}^2$
8.	$\rho = A_{st} / (b \times h)$ ve $0,01 < \rho < 0,04$

N_d , tasarım normal kuvvetini; f_{c_d} , beton tasarım basınç dayanımını; A_c , beton en kesit alanını; f_{c_k} , beton karakteristik basınç dayanımını; M_{x_d} , x eksenindeki tasarım moment değerini; M_{y_d} , y eksenindeki tasarım moment değerini; b ve h, kolon en ve boyunu; ρ , en kesitteki donatı oranını; A_{st} , en kesitteki donatı alanını ifade etmektedir.

Yukarıda belirtilen yönetmelik şartları, MATLAB kodlarına “YÖNETMELİK ŞARTLARININ KOTROLÜ” başlığı altında Şekil 3.8'deki gibi eklenmiştir. Yönetmelik şartına uymayan değerleri içeren çözüm kümelerinde, “TE” toplam emisyon hücreğine 10^9 gibi aşırı yüksek bir rakam atanarak, işlemlerimiz sonunda minimum emisyon olarak seçilme ihtimali engellenmiştir. Yönetmelik şartlarının kontrolü sonrasında, rastgele kolon boyutları ataması aşamasında başlatılan “for” döngüsü sonlandırılmıştır.

```

%YÖNETMELİK ŞARTLARININ KONTROLÜ
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

%1 - Nd<=0.9*fcd*Ac (TS500:2000)
if Nd*1000>0.9*fcd*b*h
    CM(6,i)=10^9;
end
%2 - Nd<=0.4*fck*Ac (TBDY-2018)
if Nd*1000>0.4*fck*b*h
    CM(6,i)=10^9;
end
%3 - Mxd>=(15+0.03*h)*Nd (TS500:2000)
if Mxd*1000<(15+0.03*h)*Nd
    CM(6,i)=10^9;
end
%4 - Myd>=(15+0.03*b)*Nd (TS500:2000)
if Myd*1000<(15+0.03*b)*Nd
    CM(6,i)=10^9;
end
%5 - b>=250 mm,
%6 - h>=250 mm,
%5 ve 6 numaralı şartlara uyulması for döngüsünün başındaki formüllerle
sağlandı

%7 - b*h>=75000 mm2
if b*h<75000
    CM(6,i)=10^9;
end
%8 - ro=(seçilen toplam donatı alanı)/(b*h); 0.01<ro<0.04
if Ast/(b*h)<0.01 || Ast/(b*h)>0.04
    CM(6,i)=10^9;
end

end

```

Şekil 3.8: Betonarme kolonda yönetmelik şartları kontrolü.

3.1.5. TLBO Algoritmasının Oluşturulması

TLBO algoritmasının oluşturulması aşamasında tekrar bir “for” döngüsü başlatılmıştır ve 3.1.1 başlığında belirtilen iterasyon sayısı kadar tekrar ettirilmiştir. 3.1.4 numaralı başlığa kadarki kodlarla üretilen ilk popülasyon arasından minimum emisyon miktarını veren kolon boyutları ve donatı alanı “öğretmen” olarak Şekil 3.9’daki kodlarla seçilmiştir:

```

%TLBO ALGORİTMASININ OLUŞTURULMASI
%İterasyon Süreci
for tekrar=1:itersay

    %Öğretmen Fazı
    for i=1:ps
        %En düşük CO2 emisyonunu veren değişkenler sütununun seçilmesi
        [deger, sut]=min(CM(6, :));
        eniyib=CM(1, sut);
        eniyih=CM(2, sut);
        eniyiAst=CM(3, sut);
        eniyiBK=((eniyib*eniyih-eniyiAst)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
        eniyiDK=(eniyiAst/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;
    end
end

```

Şekil 3.9: Betonarme kolonda öğretmen fazı.

Öğretmen değerlerinden yararlanılarak, sınıf popülasyonunun bilgi birikimi aşağıdaki kodlarla güncellenmiştir:

```

%Öğretmen fazı kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
%ORTF: Öğretme faktörü
%mean: MATLAB programında aritmetik ortalama hesaplayan komut
ORTF=(round(1+rand));
b=CM(1, i)+rand*(eniyib-ORTF*mean(CM(1, :)));
h=CM(2, i)+rand*(eniyih-ORTF*mean(CM(2, :)));
Ast=CM(3, i)+rand*(eniyiAst-ORTF*mean(CM(3, :)));
BK=((b*h-Ast)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;

```

Şekil 3.10: Betonarme kolonda öğretme faktörü kullanımı.

Güncellenen sınıftaki öğrenci değerleri, CM1 isimli matris altında toplanmış ve tekrardan 3.1.4. başlığındaki yönetmelik kontrolünden geçirilmiştir. Yönetmelik şartlarına uymayan öğrencilerin değerleri 10^9 yapılmıştır. Bu aşamada yönetmelik şartlarına ek olarak abak şartı getirilmiştir. Abak şartı; rastgele atanan donatı alanı miktarı, “AYDIN/AKGÜN/TOPÇU” tabloları ile yapılan çözümden daha düşükse, toplam emisyon miktarına 10^9 değerini yazmaktadır. Böylelikle tablo ile yapılan çözümden daha düşük donatı alanına sahip çözümlerin en iyi çözüm olarak seçilmemesi sağlanmıştır. Bu şart aşağıdaki Şekil 3.11’deki gibi kodlanmıştır:

```

if Ast<(w/100)*(fcd/fyd)*b*h;
    CM1(6, i)=10^9;
end

```

Şekil 3.11: Donatı şartı uymayan çözümün elenmesi.

Yukarıdaki kodlarla denklemin solundaki “Ast” ifadesi, öğretmen fazıyla güncellenen sınıftaki öğrencilere ait donatı alanı değerini, denklemin sağ tarafı ise tablolara göre bulunan donatı alanı değerini ifade etmektedir. Öğretmen fazına göre oluşturulan sınıftan en iyi değer Şekil 3.12’deki kodlama ile seçilmiş ve öğrenci fazına geçilmiştir.

```
%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
    if CM(6,i)>CM1(6,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end
```

Şekil 3.12: İyi olan yeni çözümün kaydedilmesi.

Öğrenci fazında sınıftaki öğrencilerden rastgele iki tanesi seçilir ve birbirlerinden yararlanarak yeni çözüm kümesi oluşturulmuştur. Rastgele seçimde aynı öğrencinin tekrar denk gelmemesine dikkat edilmiştir. Öğrenci fazı Şekil 3.13’teki gibi kodlanmıştır.

```
%Öğrenci Fazı
for i=1:ps
    %Rastgele iki farklı öğrencinin (ogrenci a ve ogrenci b) seçilmesi
    orna=(ceil(rand*ps));
    ornb=(ceil(rand*ps));
    while orna==ornb %Aynı öğrenci denk gelirse, tekrar rastgele seçim yapılır
        orna=(ceil(rand*ps));
        ornb=(ceil(rand*ps));
    end

    %Öğrenci fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
    if CM(6,orna)<CM(6,ornb)
        b=CM(1,i)+rand*(CM(1,orna)-CM(1,ornb));
        h=CM(2,i)+rand*(CM(2,orna)-CM(2,ornb));
        Ast=CM(3,i)+rand*(CM(3,orna)-CM(3,ornb));
        BK=((b*h-Ast)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
        DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;
    else
        b=CM(1,i)+rand()*(CM(1,ornb)-CM(1,orna));
        h=CM(2,i)+rand()*(CM(2,ornb)-CM(2,orna));
        Ast=CM(3,i)+rand()*(CM(3,ornb)-CM(3,orna));
        BK=((b*h-Ast)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
        DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;
    end
end
```

Şekil 3.13: Betonarme kolon için öğrenci fazı.

Öğrenci fazıyla oluşturulan yeni sınıf, 3.1.4 başlığında anlatılan yönetmelik şartlarıyla ve öğretmen fazında anlatılan abak şartıyla kontrol edilmiştir. Yine öğretmen fazında anlatıldığı gibi, yeni ve eski çözümlerden iyi olan “CM” isimli çözüm matrisine atanmıştır.

Kolon tasarımı için anlatılan yukarıdaki aşamalar, iterasyon sayısı kadar tekrar etmiş ve iterasyon sonunda optimum sonuç elde edilmiştir.

3.1.6. FPA Oluşturulması

Bölüm 3.1.5'te anlatılan TLBO algoritması kodları silinerek, çiçek tozlaşma algoritması kodları yazılmıştır. FPA kodları, iterasyon döngüsü içerisinde yazılmıştır. Tozlaşma türünün küresel ya da yerel olup olmadığına karar vermek için [0,1] aralığında rastgele sayılar üreten MATLAB komutu kullanılmıştır. Oluşturulan rastgele sayı 0.5 değerinden küçük ise küresel tozlaşma, aksi halde yerel tozlaşma olarak kabul edilmiştir. Küresel tozlaşma seçilirken levy uçuşu formülü kullanılmıştır. Levy uçuşundaki adım büyüklüğü, en iyi çözüm ve mevcut çözüm değerleri kullanılarak yeni kolon eni, boyu ve donatısı belirlenmiştir. Küresel tozlaşma aşamasından sonra oluşturulan değerler yönetmelik şartlarında geçirilmiştir. Yönetmelik şartından geçirilen çözüm, mevcut en iyi çözümden iyiyse hafızaya kaydedilmiştir. Şekil 3.14'te küresel tozlaşma kodlarına göre yeni çözüm değerlerinin atanması gösterilmiştir.

```
%Küresel polenleşme kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
%Levy dağılımı
levy=(1/(sqrt(2*pi)))*(rand()^-1.5)*exp(-1/(2*rand()));

%Yeni tasarım değişkenleri atanması
b=CM(1,i)+levy*(eniyib-CM(1,i));
h=CM(2,i)+levy*(eniyih-CM(2,i));
Ast=CM(3,i)+levy*(eniyiAst-CM(3,i));
BK=((b*h-Ast)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;
```

Şekil 3.14: Kolon için küresel polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.

“rand” komutu ile oluşturulan sayının 0.5 değerine eşit ya da büyük olması durumunda lokal tozlaşma kodları çalışacaktır. Lokal tozlaşma kodları, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasının öğrenci aşamasına benzer şekildedir. Popülasyon içerisinde seçilen rastgele iki polenin arasındaki fark kullanılarak Şekil 3.15'teki kodlarla lokal tozlaşma sonucu oluşacak çözüm değerleri oluşturulmuştur. Oluşturulan çözüm değerleri TLBO algoritmasındaki gibi yönetmelik şartlarından geçirilmiş ve iyi olan çözüm hafızada tutulmuştur.

```

%Lokal polenleşme
for i=1:ps
    %Rastgele iki farklı polenin (polen a ve polen b) seçilmesi
    pola=(ceil(rand*ps));
    polb=(ceil(rand*ps));
    while pola==polb %Aynı polen denk gelirse, tekrar rastgele seçim
        yapılır
        pola=(ceil(rand*ps));
        polb=(ceil(rand*ps));
    end

    %Lokal polenleşme fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
    b=CM(1,i)+rand*(CM(1,pola)-CM(1,polb));
    h=CM(2,i)+rand*(CM(2,pola)-CM(2,polb));
    Ast=CM(3,i)+rand*(CM(3,pola)-CM(3,polb));
    BK=(b*h-Ast)/10^6*(hk/1000)*GBE;
    DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;

```

Şekil 3.15 Kolon için lokal polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.

3.2. DÖRTGEN BETONARME KİRİŞ TASARIMI

Tasarım aşamaları, kolon tasarımındaki gibi sırasıyla başlıklara ayrılarak anlatılmıştır.

3.2.1. Sabit Değerler

Dörtgen şekilli betonarme kirişe ait malzeme özellikleri ve etkiyen yükler aşağıdaki Tablo 3.4'teki gibidir.

Tablo 3.4: Betonarme kiriş özellikleri ve etkiyen yükler.

Beton Sınıfı	Donatı Çeliği Sınıfı	Paspayı	Kiriş Uzunluğu	Tasarım Moment Değeri
C30/37	B420C	4 cm	300 cm	500 kNm

Kiriş tasarımı yapılırken; betonun karakteristik basınç dayanımı olan 30 N/mm^2 değeri 1.5 güvenlik katsayısına, donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı olan 420 N/mm^2 değeri ise 1.15 güvenlik katsayısına bölünerek tasarım basınç ve akma dayanımları elde edilmiştir. C30/37 sınıfı beton ve B420C sınıfı donatı çeliğine ait mukavemet özellikleri Tablo 3.5'teki gibidir:

Tablo 3.5: C30/37 beton ve B420C donatı çeliği mukavemet özellikleri.

Beton tasarım basınç dayanımı	$f_{cd}=20 \text{ N/mm}^2$
Çelik tasarım akma dayanımı	$f_{yd}=365,22 \text{ N/mm}^2$
Beton karakteristik aksenal çekme dayanımı	$f_{ctk}=1,9 \text{ N/mm}^2$
Beton tasarım aksenal çekme dayanımı	$f_{ctd}=1,28$
Ortalama basınç gerilmesi ve maksimum gerilme arasındaki oran	$k_1=0,82$
Maksimum beton basınç gerilmesi ile betonun silindir mukavemeti arasındaki oran	$k_3=0,85$
Donatı çeliği elastisite modülü	$E_s=2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

Yukarıdaki bilgiler, MATLAB tasarım kodları içerisinde “SABİT DEĞERLER” başlığı altında Şekil 3.16’deki gibi yazılmıştır:

```

%MİN. CO2 EMİSYONU VERECEK ŞEKİLDE TLBO İLE DÖRTGEN KİRİŞ TASARIMI

%SABİT DEĞERLER
%Beton sınıfı: C30/37
%Donatı çeliği sınıfı: B420C
%pp=40 mm, paspayı
%L=3000 mm kiriş uzunluğu
%Tasarım moment değeri Md=500 kNm
%fck=30 N/mm2 beton karakteristik basınç dayanımı - silindirik
%fyk=420 N/mm2 çelik karakteristik akma dayanımı
%gms=1.5 beton malzeme güvenlik katsayısı, gms=1,15 çelik güvenlik
katsayısı
%fcd=30/1.5=20 N/mm2 beton tasarım basınç dayanımı
%fyd=420/1.15=365.22 N/mm2 çelik tasarım akma dayanımı
%fctk=1.9 N/mm2 beton karakteristik aksenal çekme dayanımı
%fctd=1.28 N/mm2 beton tasarım aksenal çekme dayanımı
%k1=0.82 ortalama basınç gerilmesi ve maksimum gerilme arasındaki oran
%k3=0.85 maksimum beton basınç gerilmesi ile betonun silindir mukavemeti
arasındaki oran
%Es=2*10^5 N/mm2 donatı çeliği elastisite modülü

Md=500;
pp=40;
fcd=20;
fctd=1.28;
fyd=365.22;
k1=0.82;
k3=0.85;
Es=2*10^5;

```

Şekil 3.16: Betonarme kiriş için sabit değerler.

3.2.2. Tasarım Şartları

Bu aşamada TS500:2000 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre; betonarme kiriş tasarımı için istenen şartlar, 3.2.1 numaralı başlıkta belirtilen kodlardan sonra MATLAB kodları içerisinde yazılmıştır. Tablo 3.6’da betonarme kiriş için tasarım şartları belirtilmiştir.

Tablo 3.6: Betonarme kiriş için TS500:2000 ve TBDY-2018'e göre tasarım şartları.

Kiriş İçin TS500:2000 ve TBDY-2018 Yönetmelik Şartları	
1.	$\rho_{min} = 0,8 \times \left(\frac{f_{ctd}}{f_{yd}}\right)$
2.	$\rho_{maks} = 0,02$
3.	$\rho'_{maks} = 0,02$
4.	$(\rho - \rho')_{maks} = 0,85 \times \rho_b$
5.	$bw_{min} = 25 \text{ cm}$
6.	$h_{min} = 30 \text{ cm}$
7.	$\rho'_{min} = 226 / (bw \times h)$

ρ , kirişin alt tarafındaki çekme donatısı oranını; ρ' , kirişin üst taraftaki basınç donatısı oranını, bw , kiriş genişliğini; h , kiriş yüksekliğini ifade etmektedir. Tablo 3.5'te belirtilen yönetmelik şartları haricinde maksimum bw ve h kiriş boyutları 60 cm olarak seçilmiştir. Algoritma parametreleri olarak maksimum iterasyon sayısı 1000, popülasyon sayısı ise 20 olarak belirlenmiştir. MATLAB içerisine yerleştirilen kodlar Şekil 3.17'deki gibidir:

```
%TASARIM ŞARTLARI
%rob=0.0237 dikdörtgen kesitli kirişlerde dengeli donatı oranı (fyk=420
N/mm2 ve gmc=1.5 şartlarına göre seçilmiştir)
%ro: alt taraftaki çekme donatısı oranı
%rouslu: üst taraftaki basınç donatısı oranı
% 1 - minro=0.8*(fctd/fyd) minimum donatısı oranı
% 2 - maksro=0.02 ve maksrouslu=0.02 maksimum donatı oranı
% 3 - maks(ro-rouslu)=0.85*rob
% 4 - minbw=25 cm minimum kiriş genişliği
% 5 - minh=30 cm minimum kiriş yüksekliği
% 6 - minrouslu=226/(bw*h) en az 2Ø12 montaj donatısı (programın bu
aşamasında bw ve h belli olmadığı için denklem ilerleyen aşamalarda
% oluşturulacaktır)
rob=0.0237;
minro=0.8*(fctd/fyd);
maksro=0.02;
maksrouslu=0.02;
maksroeksirouslu=0.85*rob;
minbw=250;
minh=300;

%Yukarıdaki yönetmelik şartları dışında kolonumuzun kenarları:
%bwmaks=600 mm, hmaks=600 mm olsun
bwmaks=600; hmaks=600;

%Algoritma parametreleri
%itersay: maksimum iterasyon sayısı
%ps: popülasyon sayısı

itersay=1000;
ps=20;
```

Şekil 3.17: Betonarme kiriş için tasarım şartları.

3.2.3. Rastgele Kiriş Boyutları Atanarak Çözüm Kümelerinin Bulunması

Yönetmelik şartlarına göre minimum kiriş genişliği 25 cm, maksimum kiriş yüksekliği 30 cm ve tasarımcı tarafından belirlenen maksimum kiriş boyutları “bwmaks” ve “hmaks” olacak şekilde “rand” komutu yardımıyla “for” döngüsü içerisinde rastgele kiriş boyutları Şekil 3.18’deki gibi atanmıştır:

```
for i=1:ps
    bw=250+(bwmaks-250)*rand;
    h=300+(hmaks-300)*rand;
```

Şekil 3.18: Betonarme kiriş için rastgele boyut ataması.

“rand” komutu tam sayı vermediği için “ceil” komutuyla yuvarlama yapılmıştır (Şekil 3.19).

```
%b ve h değerlerinin cm mertebesine düşürülüp yukarı yuvarlanıp mm
cinsinden yazılması
bw=ceil(bw/10)*10;
h=ceil(h/10)*10;
```

Şekil 3.19: Betonarme kiriş boyut yuvarlaması.

Rastgele kiriş boyutları atandıktan sonra, kirişin tek donatılı ya da çift donatılı olma durumuna bakılmıştır. Bunun için Denklem 3.5 yardımıyla moment kontrolü yapılmıştır. Bulunan moment, tasarım momentinden fazlaysa tek donatılı, az ise çift donatılı tasarım yapılmıştır.

$$M = 0,235 \times f_{c_d} \times bw \times d^2 \times \left(1 - \left(\frac{0,01175}{k_3}\right)\right) \quad (3.5)$$

d, kirişin faydalı yüksekliğini ifade eder ve kiriş yüksekliğinden paspayının çıkarılmasıyla bulunur. Moment kontrolüne göre donatı alanının bulunması Şekil 3.20’deki gibi kodlanmıştır:

```

%d: kiriş faydalı yükseliği
d=h-pp;

%Moment kontrolu
M1=0.235*fcd*bw*d^2*(1-(0.1175/k3)); %M1: Nmm

%Tek donatılı olma durumu
if M1/(10^6)>=Md; %M1 değeri 10^6'ya bölünerek kNm birimine
dönüştürülüyor
K=(2*Md*10^6)/(k3*fcd*bw*d^2); %Md değeri 10^6 ile çarpılarak kNm
birimine dönüştürülüyor
%a: basınç bloğu derinliği
a=d*(1-sqrt(1-K));
As=k3*(fcd/fyd)*a*bw; %As: çekme donatısı alanı
Asuslu=226; %kirişin üst tarafına 2Ø12 montaj donatısı alanı
atanmıştır
ro=As/(bw*d); %alt taraftaki çekme donatısı oranı
rouslu=Asuslu/(bw*d); %üst taraftaki donatı oranı
TDA=As+Asuslu;

elseif M1/(10^6)<Md; %M1 değeri 10^6'ya bölünerek kNm birimine
dönüştürülüyor
%Çift sıra donatılı çözüm uygulanırsa
As1=0.235*(fcd/fyd)*bw*d;
M2=Md-(M1/10^6);
As2=(M2*10^6)/(fyd*(d-pp));
epsuslu=0.003*(1-((k1*k3/0.235)*(pp/d)));
sigmauslu=Es*epsuslu;

if sigmauslu>=fyd; %donatının akma durumu
sigmauslu=fyd;
end
Asuslu=(As2*fyd)/sigmauslu;
As=As1+As2;
ro=As/(bw*d);
rouslu=Asuslu/(bw*d);
TDA=As+Asuslu;

End

```

Şekil 3.20: Moment kontrolüne göre donatı alanı bulunması.

3.2.4. Amaç Fonksiyonu

Kolon tasarımındaki gibi amaç; yapı malzemeleri üretim sürecinden kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarının minimum olduğu donatı ve beton boyutlarını bulmaktır.

Tablo 3.2'de belirtilen hammaddelere sahip geleneksel Portland çimentolu betondan ve geopolimer betondan kaynaklı emisyon miktarları kodlamamızda sabit değerler olarak yer almıştır. Geleneksel beton üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı 316 kg/m³, geopolimer beton üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ise 115 kg/m³ olarak tanımlanmıştır. Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ise 0.76 kg/kg olarak kabul edilmiştir [59].

L=3 m uzunluğunda bir kiriş tasarımı yapıldığı varsayılmıştır. Yapılacak tasarımlarda beton kaynaklı ve donatı kaynaklı emisyon miktarları aşağıdaki gibi kodlanmıştır. “GBE” harfleriyle kodlanan değere ilk olarak geleneksel beton birim emisyon miktarı girilip program çalıştırılmış, daha sonra geopolimer beton birim emisyon miktarı girilip program tekrar çalıştırılmıştır. Sonuçlar “CM” isimli çözüm matrisi içerisine kaydedilmiştir (Şekil 3.21).

```
%AMAÇ FONKSİYONUMUZ

%Geleneksel betonun üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%GBE=316 kg/m3
GBE=316;

%Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%DE=0.76 kg/kg
DE=0.76;

%Betonarme donatısı özgül ağırlığı 7850 kg/m3
doa=7850;

%L=3000 mm uzunluğunda bir kiriş imalatı sonucunda ortaya çıkacak CO2
emisyon miktarını bulalım (kg)
L=3000;

%Beton kaynaklı (kg):
BK=( (bw*h-TDA) /10^6) * (L/1000) *GBE;

%Donatı kaynaklı (kg):
DK=(TDA/ (10^6)) * (L/1000) *doa*DE;

%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM(1,i)=bw;
CM(2,i)=h;
CM(3,i)=ro;
CM(4,i)=rouslu;
CM(5,i)=TDA;
CM(6,i)=BK;
CM(7,i)=DK;
CM(8,i)=TE;
```

Şekil 3.21: Atanan boyutlara göre emisyon miktarının bulunması.

3.2.5. Tasarım Şartlarının Kontrolü

Başlık 3.2.3'e göre bulunan kiriş boyutları ve donatı alanları dikkate alınarak, Tablo 3.5'teki yönetmelik şartlarının kontrolü yapılmıştır. Tabloya ek olarak, taşıma gücü kontrolü de yapılmıştır. Kiriş tasarım değerleri yönetmelik şartlarına uymuyorsa, tasarımcının belirlediği

maksimum kiriş boyutlarına uymuyorsa ve M_r taşıma gücü momenti M_d tasarım momentinden az ise; emisyon miktarı Şekil 3.22'deki gibi 10^9 gibi aşırı yüksek bir değer olarak atanmıştır. Bu aşama sonrasında, TLBO algoritmasından önceki “for” döngüsü “end” komutuyla kapatılmıştır.



```

%TASARIM ŞARTLARI KONTROLU
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır
% 1 - minro=0.8*(fctd/fyd) minimum donatı oranı
if ro<minro
    CM(8,i)=10^9;
end
% 2 - maksro=0.02 ve maksrouslu=0.02 maksimum donatı oranı
if ro>maksro || rouslu>maksrouslu
    CM(8,i)=10^9;
end
% 3 - maks(ro-rouslu)=0.85*rob
if ro-rouslu>maksroeksirouslu
    CM(8,i)=10^9;
end
% 4 - minbw=25 cm minimum giriş genişliği(yönetmelik şartı) ve bizim
oluşturduğumuz maksimum bw şartı
if bw<minbw || bw>bwmaks
    CM(8,i)=10^9;
end
% 5 - minh=30 cm minimum giriş yüksekliği (yönetmelik şartı) ve bizim
oluşturduğumuz maksimum bw şartı
if h<minh || h>hmaks
    CM(8,i)=10^9;
end
% 6 - minrouslu=226/(bw*h) en az 2Ø12 montaj donatısı
if rouslu<226/(bw*h);
    CM(8,i)=10^9;
end
% 7 - Taşıma gücü kontrolü
M1=0.235*fcd*bw*d^2*(1-(0.1175/k3));
if M1/(10^6)>=Md; %tek sıra donatılı kesit
    a1=As*fcd/(0.85*fcd*bw);
    Mr=As*fcd*((h-pp)-a1/2);
    if Mr<(Md*10^6)
        CM(8,i)=10^9;
    end
elseif M1/(10^6)<Md; %çift sıra donatılı kesit
    if ro-rouslu>=(0.85*k1*fcd/fyd)*(600/(600-fyd))*(pp/(h-pp))
        a1=((As-Asuslu)*fcd)/(0.85*fcd*bw);
        Mr=(As*fcd-Asuslu*fcd)*((h-pp)-a1/2)+Asuslu*fcd*(h-pp);
        if Mr<(Md*10^6)
            CM(8,i)=10^9;
        end
    elseif ro-rouslu<(0.85*k1*fcd/fyd)*(600/(600-fyd))*(pp/(h-pp))
        A1=0.85*fcd*bw*k1;
        A2=Asuslu*600-As*fcd;
        A3=-Asuslu*600*pp;
        c1=(-A2+sqrt(A2^2-4*A1*A3))/(2*A1);
        c2=(-A2-sqrt(A2^2-4*A1*A3))/(2*A1);
        if c1<c2
            c=c2;
        else
            c=c1;
        end
    end
end

```

Şekil 3.22: Betonarme giriş için tasarım şartları kontrolü.

```

        a1=k1*c;
        sigmasuslu=600*(c-pp)/c;
        Mr=(As*fyd-Asuslu*sigmasuslu)*(h-pp)-
a1/2)+Asuslu*sigmasuslu*(h-pp)-pp);
        if Mr<(Md*10^6)
            CM(8,i)=10^9;
        end
    end
end
end

```

Şekil 3.22 (devam): Betonarme kiriş için tasarım şartları kontrolü.

3.2.6. TLBO Algoritmasının Oluşturulması

TLBO algoritmasının oluşturulması aşamasında tekrar bir “for” döngüsü başlatılmıştır ve 3.2.2 başlığında belirtilen iterasyon sayısı kadar tekrar etmiştir. 3.2.5 numaralı başlığa kadarki kodlarla üretilen ilk popülasyon arasından minimum emisyon miktarını veren kiriş boyutları ve donatı alanı “öğretmen” olarak Şekil 3.23’teki kodlarla seçilmiştir. “CM” isimli matrisin 8. satırını toplam emisyon miktarının toplandığı satırdır.

```

%TLBO ALGORİTMASININ OLUŞTURULMASI
%İterasyon Süreci
for tekrar=1:itersay

    %Öğretmen Fazı
    for i=1:ps
        %En düşük CO2 emisyonunu veren değişkenler sütununun seçilmesi
        [deger,sut]=min(CM(8,:));
        eniyibw=CM(1,sut);
        eniyih=CM(2,sut);
        eniyiro=CM(3,sut);
        eniyirouslu=CM(4,sut);
        eniyiTDA=CM(5,sut);
        eniyiBK=((eniyibw*eniyih-eniyiTDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
        eniyiDK=(eniyiTDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;
    end
end

```

Şekil 3.23: Betonarme kiriş için öğretmen fazı.

Öğretmen fazı kurallarına göre, rastgele değişkenler oluşturularak yeni öğrenciler oluşturulmuştur. Oluşturulan her öğrencinin değerleri “CM1” isimli matriste toplanır ve 3.2.5 numaralı başlıkta belirtilen tasarım şartlarından geçirilmiştir. Şartlara uymayan “CM1” matrisindeki öğrencilerin emisyon değerleri 10^9 yapılarak minimum emisyon değeri olmaması sağlanmıştır. Daha sonra oluşturulan “CM1” matrisi öğrencileri, önceden oluşturulan “CM” matrisi öğrencilerinden iyiyse, “CM” matrisi popülasyonuna dahil edilmiştir.

Öğretmen fazına göre yeni öğrencilerin değerleri Şekil 3.24’teki kodlardaki oluşturulmuştur.

```

%Öğretmen fazı kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
%ORTF: Öğretme faktörü
%mean: MATLAB programında aritmetik ortalama hesaplayan komut
ORTF=(round(1+rand));
bw=CM(1,i)+rand*(eniyibw-ORTF*mean(CM(1,:)));
h=CM(2,i)+rand*(eniyih-ORTF*mean(CM(2,:)));
ro=CM(3,i)+rand*(eniyiro-ORTF*mean(CM(3,:)));
rouslu=CM(4,i)+rand*(eniyirouslu-ORTF*mean(CM(4,:)));
TDA=(ro+rouslu)*bw*h;
BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;

%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

```

Şekil 3.24: Betonarme giriş için öğretme faktörü.

Şekil 3.25'teki kodlar ile oluşturulan değerler öğrencilere aktarılmıştır:

```

%Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrisine atanması
CM1(1,i)=bw;
CM1(2,i)=h;
CM1(3,i)=ro;
CM1(4,i)=rouslu;
CM1(5,i)=TDA;
CM1(6,i)=BK;
CM1(7,i)=DK;
CM1(8,i)=TE;

```

Şekil 3.25: Yeni çözüm matrisinin oluşturulması.

Tasarım şartından geçirilen öğrenciler, Şekil 3.24'teki kodlama ile "CM" çözüm matrisine atanmıştır:

```

%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
    if CM(8,i)>CM1(8,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end

```

Şekil 3.26: Yeni çözümlerden iyilerin kaydedilmesi.

Öğrenci fazında da 3.1.5 başlığında anlatıldığı gibi birbirinden farklı rastgele iki öğrenci seçilmiştir. Seçilen öğrencilerin, sekizinci satırındaki emisyon değerleri dikkate alınarak Şekil 3.27'deki gibi öğrenci fazı faktörleri uygulanmıştır:


```

%Öğrenci fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
if CM(8,orna)<CM(8,ornb)
bw=CM(1,i)+rand*(CM(1,orna)-CM(1,ornb));
h=CM(2,i)+rand*(CM(2,orna)-CM(2,ornb));
ro=CM(3,i)+rand*(CM(3,orna)-CM(3,ornb));
rouslu=CM(4,i)+rand*(CM(4,orna)-CM(4,ornb));
TDA=(ro+rouslu)*bw*h;
BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;
else
bw=CM(1,i)+rand*(CM(1,ornb)-CM(1,orna));
h=CM(2,i)+rand*(CM(2,ornb)-CM(2,orna));
ro=CM(3,i)+rand*(CM(3,ornb)-CM(3,orna));
rouslu=CM(4,i)+rand*(CM(4,ornb)-CM(4,orna));
TDA=(ro+rouslu)*bw*h;
BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;
End

```

Şekil 3.27: Öğrenci fazına göre giriş değişkenlerinin oluşturulması.

Yukarıdaki kodlarda görüldüğü üzere, “if” komutu yardımıyla öğrencilerin birbirlerine olan üstünlüğü dikkate alınarak, iki öğrenci arasında bilgi paylaşımı yapılmış ve yeni “bw” giriş genişliği, “h” giriş yüksekliği, “p” ve “p” donatı oranları TLBO algoritması formüllerine göre atanmıştır. Atanan bu değerlere bağlı olarak “TDA” toplam donatı alanı, “BK” beton kaynaklı emisyon miktarı, “DK” donatı kaynaklı emisyon miktarı ve amaç fonksiyonu olan “TE” toplam emisyon miktarı bulunmuştur. Bilgi paylaşımı sonucunda oluşan yeni değerler Şekil 3.2’deki kodlarla “CM1” isimli geçici matrise atanmıştır:

```

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ
%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM1(1,i)=bw;
CM1(2,i)=h;
CM1(3,i)=ro;
CM1(4,i)=rouslu;
CM1(5,i)=TDA;
CM1(6,i)=BK;
CM1(7,i)=DK;
CM1(8,i)=TE;

```

Şekil 3.28: Yeni çözüm matrisinin oluşturulması.

“CM1” isimli geçici matrise atanan değerler, 3.2.5 başlığında anlatıldığı gibi tasarım şartları kontrolünden geçirilmiş ve şartlara uymayan değerler 10^9 gibi aşırı yüksek bir rakama dönüştürülerek, minimum emisyonu veriyormuş gibi gözükse bile elenmiştir. En son aşama

olarak; “CM1” geçici matrisindeki öğrenciler ile mevcut “CM” matrisindeki öğrenci karşılaştırması “for” döngüsü kullanılarak yapılmıştır. Geçici matristeki daha iyi öğrenciler Şekil 3.29’da gösterildiği gibi “for” ve “if” döngüleri yardımıyla, mevcut matris içine alınarak aralarındaki en iyi öğrencinin kalıcı sınıfa alınması sağlanmış ve kodlama tamamlanmıştır. Optimizasyon süreci, TLBO algoritmasının başında belirtilen iterasyon sayısı kadar tekrar ettirilmiştir.

```
%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
    if CM(8,i)>CM1(8,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end
```

Şekil 3.29: İyi olan yeni çözümün kaydedilmesi.

3.2.7.FPA Oluşturulması

Bölüm 3.2.6’da anlatılan TLBO algoritması kodları silinerek, çiçek tozlaşma algoritması kodları yazılmıştır. FPA kodları, iterasyon döngüsü içerisinde yazılmıştır. Tozlaşma türünün küresel ya da yerel olup olmadığına karar vermek için [0,1] aralığında rastgele sayılar üreten MATLAB komutu kullanılmıştır. Oluşturulan rastgele sayı 0.5 değerinden küçük ise küresel tozlaşma, aksi halde yerel tozlaşma olarak kabul edilmiştir. Küresel tozlaşma seçilirken levy uçuşu formülü kullanılmıştır. Levy uçuşundaki adım büyüklüğü, en iyi çözüm ve mevcut çözüm değerleri kullanılarak yeni giriş eni, boyu ve donatıları belirlenmiştir. Küresel tozlaşma aşamasından sonra oluşturulan değerler tasarım şartlarından geçirilmiştir. Tasarım şartından geçen çözüm, mevcut en iyi çözümden iyiyse hafızaya kaydedilmiştir. Şekil 3.30’da küresel tozlaşma kodlarına göre yeni çözüm değerlerinin atanması gösterilmiştir.

```
%Küresel polenleşme kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
%Levy dağılımı
levy=(1/(sqrt(2*pi)))*(rand()^-1.5)*exp(-1/(2*rand()));

%Yeni tasarım değişkenleri atanması
bw=CM(1,i)+levy*(eniyibw-CM(1,i));
h=CM(2,i)+levy*(eniyih-CM(2,i));
ro=CM(3,i)+levy*(eniyiro-CM(3,i));
rouslu=CM(4,i)+levy*(eniyirouslu-CM(4,i));
TDA=(ro+rouslu)*bw*h;
BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;
```

Şekil 3.30: Giriş için küresel polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.

“rand” komutu ile oluşturulan sayının 0.5 değerine eşit ya da büyük olması durumunda lokal tozlaşma kodları çalışacaktır. Lokal tozlaşma kodları, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasının öğrenci aşamasına benzer şekildedir. Popülasyon içerisinde seçilen rastgele iki polenin arasındaki fark kullanılarak Şekil 3.31’deki kodlarla lokal tozlaşma sonucu oluşacak çözüm değerleri oluşturulmuştur. Oluşturulan çözüm değerleri TLBO algoritmasındaki gibi yönetmelik şartlarından geçirilmiş ve iyi olan çözüm hafızada tutulmuştur.

```
%Lokal polenleşme
for i=1:ps
    %Rastgele iki farklı polenin (polen a ve polen b) seçilmesi
    pola=(ceil(rand*ps));
    polb=(ceil(rand*ps));
    while pola==polb %Aynı polen denk gelirse, tekrar rastgele seçim yapılır
        pola=(ceil(rand*ps));
        polb=(ceil(rand*ps));
    end

    %Lokal polenleşme fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
    bw=CM(1,i)+rand*(CM(1,pola)-CM(1,polb));
    h=CM(2,i)+rand*(CM(2,pola)-CM(2,polb));
    ro=CM(3,i)+rand*(CM(3,pola)-CM(3,polb));
    rouslu=CM(4,i)+rand*(CM(4,pola)-CM(4,polb));
    TDA=(ro+rouslu)*bw*h;
    BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
    DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;
```

Şekil 3.31: Kiriş için lokal polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.

3.3. BETONARME KARE TEKİL TEMEL TASARIMI

Tasarım aşamaları, 3.1 ve 3.2 numaralı başlıklarda anlatılan kolon ve kiriş tasarımlarındaki gibi sırasıyla başlıklara ayrılarak anlatılmıştır.

3.3.1. Sabit Değerler

Betonarme kare tekil temele ait malzeme özellikleri ve etkiyen yükler aşağıdaki Tablo 3.7’deki gibidir:

Tablo 3.7: Betonarme kare tekil temel özellikleri ve etkiyen yükler.

Beton Sınıfı	Donatı Çeliği Sınıfı	Zemin Emniyet Gerilmesi	Kolon Boyutları	Kolon Tasarım Yükü	Paspayı
C20/25	S420	360 kN/m ²	70x70 cm	4500 kN	5 cm

Temel tasarımı yapılırken, zemin emniyet gerilmesi $q_{em}=360 \text{ kN/m}^2$, kare kolon kenarı $a_x=a_y=70 \text{ cm}$, kolondan temele gelen tasarım yükü $N_d=4500 \text{ kN}$ olarak alınmıştır. Minimum eksantrisite e_{min} metre cinsinden Denklem 3.6 yardımıyla bulunmuştur:

$$e_{min} = (15 + 0,03 \times a_x)/1000 \quad (3.6)$$

Minimum eksantrisite ile kolondan gelen tasarım yükü çarpılarak M_{d_x} tasarım momenti bulunmuştur:

$$M_{d_x} = e_{min} \times N_d \quad (3.7)$$

Zemin emniyet gerilmesi ise 1.5 güvenlik katsayısı ile çarpılacak ve minimum temel alanı bulunmuştur:

$$f_{z_u} = 1,5 \times q_{em} \quad (3.8)$$

$$\min b_x b_y = N_d / f_{z_u} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki formüllerde f_{z_u} , genişletilmiş zemin emniyet gerilmesini; $\min b_x b_y$, kare temelin minimum alanını ifade etmektedir. Kolon boyutumuz $70 \times 70 \text{ cm}$ olduğu için, tekil temelin boyutları da minimum $70 \times 70 \text{ cm}$ olmalıdır. Minimum temel kalınlığı ise 25 cm olmalıdır. Algoritma iterasyonları sırasında atanacak maksimum temel uzunluğu ve kalınlığı ise 5'er metre olarak belirlenmiştir. Paspayı 5 cm , eğilme etkisi katsayısı $\gamma=1$, C20/25 beton sınıfı için tasarım çekme dayanımı $f_{ct,d}=1 \text{ N/mm}^2$, S420 çeliğin tasarım çekme dayanımı $f_{y,d}=365 \text{ N/mm}^2$ olarak Şekil 3.32'deki gibi kodlarımızın "SABİT DEĞERLER" kısmına işlenmiştir:

```

%SABİT DEĞERLER
%Beton sınıfı: C20/25
%Donatı çeliği sınıfı: S420
%qem=360 kN/m2 zemin emniyet gerilmesi
%Kolon boyutları: 70x70 cm
%Nd=4500 kN kolon yükleri
%pp=5 cm paspayı

qem=360; %kN/m2
axkolon=700; %kare kolon kenar uzunluğu (mm)
Nd=4500; %kN
emin=(15+0.03*axkolon)/1000; %minimum eksantrisite (m)
Mdx=emin*Nd; %tasarım momenti değeri (kNm)
fzu=1.5*qem; %zemin emniyet gerilmesinin güvenlik katsayısıyla çarpılması
(kN/m2)
minbxby=Nd/fzu; %min. temel alanı (m2)
minbx=0.7; %x ekseninde min. temel uzunluğu (m)
minby=0.7; %y ekseninde min. temel uzunluğu (m)
maksbx=5; %x ekseninde maks. temel uzunluğu atayalım (m)
maksby=5; %y ekseninde maks. temel uzunluğu atayalım (m)
minh=0.25; %min. temel kalınlığı (m)
maksh=5; %maks. temel kalınlığı (m)
pp=0.05; %paspayı (m)
gama=1; %eğilme etkisi katsayısı (eksenel yükleme durumu için gama=1)
fctd=1; %C20/25 beton sınıfı için tasarım çekme dayanımı (N/mm2)
fyd=365; %S420 çeliğinin tasarım çekme dayanımı (N/mm2)

```

Şekil 3.32: Tekil temel için sabit değerlerin atanması.

Kodlarımızın “SABİT DEĞERLER” kısmına Şekil 3.33’teki gibi iterasyon sayısı ve popülasyon sayısı eklenmiştir ve sonrasında boyut atama aşamasına geçilmiştir:

```

%Algoritma parametreleri
%itersay: maksimum iterasyon sayısı
%ps: popülasyon sayısı

itersay=1000;
ps=20;

```

Şekil 3.33: İterasyon ve popülasyon sayısının atanması.

3.3.2. Rastgele Temel Boyutları Atanarak Çözüm Kümelerinin Bulunması

Bu aşamada “for” döngüsü içerisinde “rand” komutu kullanılarak önceden belirlenen popülasyon sayısı kadar rastgele kare temel eni ve boyu oluşturulmuştur. Atanan boyutlara göre $\sigma_{z_{maks}}$ maksimum ve σ_{z_0} ortalama zemin gerilmeleri Denklem 3.10 ve Denklem 3.11 ile hesaplanmıştır:

$$\sigma_{z_{maks}} = \left(\frac{N_d}{b_x \times b_y} \right) + \left(\frac{M_{dx}}{b_y \times \frac{b_x^3}{12}} \right) \times \left(\frac{b_x}{2} \right) \quad (3.10)$$

$$\sigma_{z_o} = N_d / (b_x \times b_y) \quad (3.11)$$

Rastgele temel kalınlığı ataması da yapıldıktan sonra; u_p zımbalama çevresi, A_p zımbalama alanı ve bunlara bağlı olarak V_{p_d} zımbalama tasarım kesme kuvveti ile V_{p_r} zımbalama taşıma kesme kuvveti bulunmuştur:

$$d = h - pp \quad (3.12)$$

$$b_1 = \left(\frac{a_x}{1000} \right) + d \quad (3.13)$$

$$u_p = 4 \times b_1 \quad (3.14)$$

$$A_p = b_1 \times b_1 \quad (3.15)$$

$$V_{p_d} = N_d - A_p \times \sigma_{z_o} \quad (3.16)$$

$$V_{p_r} = \gamma \times u_p \times d \times fct_d \times 1000 \quad (3.17)$$

Yukarıdaki formüllerde h , temel kalınlığını; pp , paspayını; d , faydalı yüksekliği; b_1 bir kenardaki zımbalama uzunluğunu ifade etmektedir.

Aşağıdaki formüller yardımıyla da f_{z_n} net zemin dayanı, v_d kolon yüzünde kesme tasarım kuvveti, v_{c_r} kolon yüzünde taşıma kesme kuvveti, m_{d_x} x ekseninde tasarım momenti, m_{d_y} y ekseninde tasarım momenti, A_{s_x} x eksenini doğrultusundaki donatı alanı, A_{s_y} y eksenini doğrultusundaki donatı alanı, TDA toplam donatı alanı, $minA_{s_x}$ minimum donatı alanı bulunmuştur:

$$f_{z_n} = f_{z_u} - 18 \times h \quad (3.18)$$

$$v_d = \sigma_{z_o} \times b_x \times \left(b_x - \frac{a_x}{1000} \right) / 2 \quad (3.19)$$

$$v_{c_r} = \gamma \times fct_d \times b_y \times d \times 1000 \quad (3.20)$$

$$m_{d_x} = (\sigma_{z_o}/2) \times \left(\frac{b_x - \frac{a_x}{1000}}{2} \right)^2 \times b_y \quad (3.21)$$

$$m_{d_x} = m_{d_y} \text{ (kare temel olduğu için)} \quad (3.22)$$

$$A_{s_x} = m_{d_x} / (f_{y_d} \times 0,86 \times d \times 1000) \quad (3.23)$$

$$A_{s_y} = A_{s_x} \text{ (kare temel olduğu için)} \quad (3.24)$$

$$TDA = A_{s_x} + A_{s_y} \quad (3.25)$$

$$\min A_{s_x} = 0,002 \times b_x \times d \quad (3.26)$$

3.3.3. Amaç Fonksiyonu

Kolon ve kiriş tasarımındaki gibi amacımız; yapı malzemeleri üretim sürecinden kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarının minimum olduğu donatı ve beton boyutlarını bulmaktır.

Tablo 3.2’de belirtilen hammaddelere sahip geleneksel Portland çimentolu betondan ve geopolimer betondan kaynaklı emisyon miktarları kodlamamızda sabit değerler olarak yer almıştır. Geleneksel beton üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı 316 kg/m³, geopolimer beton üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ise 115 kg/m³ olarak tanımlanmıştır. Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı ise 0.76 kg/kg olarak kabul edilmiştir [59].

Yapılacak tasarımlarda beton kaynaklı ve donatı kaynaklı emisyon miktarları aşağıdaki gibi kodlanmıştır. GBE harfleriyle kodlanan değere ilk olarak geleneksel beton birim emisyon miktarı girilip program çalıştırılmış, daha sonra geopolimer beton birim emisyon miktarı girilip program tekrar çalıştırılmıştır. 3.3.2 başlıklı bölümde bulunan donatı alanı ve temel boyutlarından yararlanılarak, BK beton kaynaklı, DK donatı kaynaklı ve TE toplam emisyon miktarları, “CM” isimli çözüm matrisi içerisine b_x ve b_y temel boyutları, h temel kalınlığı, A_{s_x}

ve A_{s_y} enine ve boyuna donatı alanları, TDA toplam donatı alanı değerleri ile birlikte Şekil 3.34'teki kodlarla yazılmıştır.

```
%AMAÇ FONKSİYONUMUZ
%Geleneksel betonun üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%GBE=316 kg/m3
GBE=316;
%Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%DE=0.76 kg/kg
DE=0.76;
%Betonarme donatısı özgül ağırlığı 7850 kg/m3
doa=7850;
%Beton kaynaklı (kg):
BK= ((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
%Donatı kaynaklı (kg):
DK= ((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;
%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;
%Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM(1,i)=bx;
CM(2,i)=by;
CM(3,i)=h;
CM(4,i)=Asx;
CM(5,i)=Asy;
CM(6,i)=TDA;
CM(7,i)=BK;
CM(8,i)=DK;
CM(9,i)=TE;
```

Şekil 3.34: Betonarme temel için çözüm matrisinin oluşturulması.

3.3.4. Tasarım Şartlarının Kontrolü

Başlık 3.3.2'ye göre bulunan zemin gerilmesi; zımbalama alanı, çevresi ve kuvvetleri; zemin dayanımı; kolon yüzünde kesme kuvveti; temel boyutları ve donatı alanları dikkate alınarak, Tablo 3.8'deki tasarım şartlarının kontrolü yapılmıştır. Minimum donatı kontrolü aşaması hariç, tasarım şartlarına uymayan değere sahip çözümlerin TE toplam emisyon miktarları 10^9 yapılarak amacımızdan uzaklaştırılmıştır. Sadece minimum donatı alanını sağlamayan değerler atandığında, toplam emisyon değeri 10^9 yapılmayıp, donatı alanı minimum donatı alanına eşitlenerek tekrardan emisyon hesabı yapılmıştır. Tasarım şartları kontrolleri sonrasında, TLBO algoritmasından önceki “for” döngüsü “end” komutuyla kapatılmıştır.

Tablo 3.8: Betonarme kare tekil temel tasarım şartları.

Betonarme Temel Tasarım Şartları	
1. Maksimum zemin gerilmesi kontrolü	$\sigma_{z_{maks}} \leq f_{z_u}$
2. Zımbalama denetimi	$V_{p_d} \leq V_{p_r}$
3. Net zemin dayanımı denetimi	$\sigma_{z_{maks}} \leq f_{z_n}$
4. Kolon yüzünde kesme kuvveti denetimi	$v_d \leq v_{c_r}$
5. Minimum donatı kontrolü	$A_{s_x} \geq \min A_{s_x}$
6. Boyut kontrolü	$b_x \geq 0,70 \text{ m}; b_x \times b_y \geq 1 \text{ m}^2; h \geq 0,25 \text{ m}; b_x \leq 5 \text{ m}; h \leq 5 \text{ m}$

Tasarım şartları Şekil 3.35'teki gibi kodlanmıştır:



```

%TASARIM ŞARTLARI KONTROLU
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

% 1 - minimum donatı kontrolü
minAsx=0.002*bx*d*10^6;
if Asx<minAsx
    Asx=minAsx;
    Asy=minAsx;
    CM(4,i)=minAsx;
    CM(5,i)=minAsx;
    CM(6,i)=2*minAsx;
    CM(7,i)=((bx*by)*h-(2*minAsx/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
    CM(8,i)=((2*minAsx/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;
    CM(9,i)=CM(7,i)+CM(8,i);
end

% 2 - maksimum zemin gerilmesi kontrolü
sigmazmaks=(Nd/(bx*by))+(Mdx/(by*(bx^3)/12))*(bx/2);
if sigmazmaks>fzu
    CM(9,i)=10^9;
end

% 3 - zımbalama denetimi
b1=(axkolon/1000)+(h-pp);
up=4*b1; %zımbalama çevresi (m)
Ap=b1*b1; %zımbalama alanı (m2)
sigmazo=Nd/(bx*by); %ortalama zemin gerilmesi (kN/m2)
Vpd=Nd-Ap*sigmazo; %zımbalama tasarım kesme kuvveti (kN)
Vpr=gama*up*d*fctd*1000; %zımbalama taşıma kesme kuvveti (kN)
if Vpd>Vpr
    CM(9,i)=10^9;
end

% 4 - net zemin dayanımı denetimi
fzn=fzu-18*h;
if sigmazmaks>fzn
    CM(9,i)=10^9;
end

% 5 - kolon yüzünde kesme kuvveti denetimi
vd=sigmazo*bx*(bx-axkolon/1000)/2;
vcr=gama*fctd*1000*bx*d;
if vd>vcr
    CM(9,i)=10^9;
end

% 6 - boyut kontrolü
if bx<0.70 || bx*by<1 || h<0.25 || bx>5 || h>5
    CM(9,i)=10^9;
end
end

```

Şekil 3.35: Betonarme temel için tasarım şartları kontrolü.

3.3.5. TLBO Algoritmasının Oluşturulması

TLBO algoritmasının oluşturulması aşamasında tekrar bir “for” döngüsü başlatılmış ve daha önceden belirtilen iterasyon sayısı kadar tekrar ettirilmiştir. 3.3.4 numaralı başlığa kadarki kodlarla üretilen ilk popülasyon arasından minimum emisyon miktarını veren temel boyutları ve donatı alanı “öğretmen” olarak Şekil 3.36’daki kodlarla seçilmiştir. “CM” isimli matrisin 9. satırı toplam emisyon miktarının toplandığı satırdır. Aşağıdaki aşamada “eniyiTE” değeri öğretmene ait değerdir.

```
%TLBO ALGORİTMASININ OLUŞTURULMASI
%İterasyon Süreci
for tekrar=1:itersay

    %Öğretmen Fazı
    for i=1:ps
        %En düşük CO2 emisyonunu veren değişkenler sütununun seçilmesi
        [deger, sut]=min(CM(9, :));
        eniyibx=CM(1, sut);
        eniyiby=eniyibx;
        eniyih=CM(3, sut);
        eniyiAsx=CM(4, sut);
        eniyiAsy=eniyiAsx;
        eniyiTDA=2*Asx;
        eniyiBK=((eniyibx*eniyiby)*eniyih-
(eniyiTDA/10^6)*(eniyibx+2*(eniyih-2*pp)))*GBE;
        eniyiDK=((eniyiTDA/10^6)*(eniyibx+2*(eniyih-2*pp)))*doa*DE;
        eniyiTE=eniyiBK+eniyiDK;
```

Şekil 3.36: Betonarme temel için öğretmen fazının oluşturulması.

Öğretmenin bilgi birikiminden ve sınıfın ortalama değerlerinden yararlanılarak yeni öğrenciler oluşturulmuştur. “mean” komutu sınıfın ortalama değerini bulmak için kullanılmıştır. “ORTF” olarak tanımlanan öğretim faktörü ise [0,1] aralığında rastgele sayı atayan “rand” komutu ve yuvarlamaya yarayan “round” komutu yardımıyla 1 ya da 2 olacak şekilde kodlanmıştır. Öğretim faktörü yardımıyla, temel boyutları ve donatı alanları ataması yapılmıştır, bunlara bağlı olarak da emisyon miktarları bulunmuştur. Bulunan değerler “CM1” isimli geçici matris içerisine Şekil 3.37’deki gibi alınmıştır.

```

%Öğretmen fazı kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
%ORTF: Öğretme faktörü
%mean: MATLAB programında aritmetik ortalama hesaplayan komut
ORTF=(round(1+rand));
bx=CM(1,i)+rand*(eniyibx-ORTF*mean(CM(1,:)));
by=bx;
h=CM(3,i)+rand*(eniyih-ORTF*mean(CM(3,:)));
Asx=CM(4,i)+rand*(eniyiasx-ORTF*mean(CM(4,:)));
Asy=Asx;
TDA=2*Asx;
BK=((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
DK=((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp))*doa*DE;

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ

%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrisine atanması
CM1(1,i)=bx;
CM1(2,i)=by;
CM1(3,i)=h;
CM1(4,i)=Asx;
CM1(5,i)=Asy;
CM1(6,i)=TDA;
CM1(7,i)=BK;
CM1(8,i)=DK;
CM1(9,i)=TE;

```

Şekil 3.37: Betonarme temel için öğretme faktörünün ve yeni değer matrisinin oluşturulması.

“CM1” matrisine atanan değerler, 3.3.4 bölümündeki tasarım şartları kontrolünden geçirilmiş ve minimum donatı şartı hariç, şartları sağlamayan kritere sahip olan öğrencilerin toplam emisyon miktarları 10^9 yapılarak, sonraki aşamada elenmeleri sağlanmıştır.

Tasarım şartlarından geçen “CM1” matrisi öğrencileri, mevcut “CM” matrisi değerleriyle karşılaştırılmıştır. Daha düşük emisyonu veren öğrenciler “CM” matrisine Şekil 3.38’deki gibi kaydedilmiştir:

```

%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
    if CM(9,i)>CM1(9,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end

```

Şekil 3.38: Betonarme temel için iyi olan çözümün kalıcı matrisine atanması.

Öğretmen fazı tamamlandıktan sonra, öğrenci fazına geçilmiştir. Öğrenci fazı aşaması gereğince, mevcut “CM” matrisinden rastgele iki öğrenci seçilir ve birbirleri arasında bilgi

alışverişinin yapılması sağlanır. Bilgi alışverişi, öğrencilere ait temel boyutları ve donatı alanları arasında yapılmıştır, alışveriş sonrası oluşan yeni temel boyutları ve donatı alanları bilgilerine göre emisyon miktarları tekrar hesaplanmış ve “CM1” isimli matrise kaydedilmiştir. “CM1” isimli matrise atanan yeni değerler, 3.3.4 bölümünde belirtilen tasarım şartlarından geçirilmiştir. Tasarım şartları aşamasından sonra, mevcut “CM” matrisi ve yeni oluşturulan “CM1” matrisi öğrencileri karşılaştırılmıştır. Daha iyi değerleri veren öğrenciler “CM” mevcut matrisine alınmıştır. Bu işlemler iterasyon bitene kadar tekrar eder ve iterasyon sonunda en iyi sonucu veren öğrenci “CM” matrisi içerisinde yer almıştır. Öğrenci fazı aşağıdaki Şekil 3.39’daki gibi kodlanmıştır:

```

%Öğrenci Fazı
for i=1:ps
    %Rastgele iki farklı öğrencinin (ogrenci a ve ogrenci b) seçilmesi
    orna=(ceil(rand*ps));
    ornb=(ceil(rand*ps));
    while orna==ornb %Aynı öğrenci denk gelirse, tekrar rastgele seçim
        yapılır
        orna=(ceil(rand*ps));
        ornb=(ceil(rand*ps));
    end

    %Öğrenci fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
    if CM(8,orna)<CM(8,ornb)
        bx=CM(1,i)+rand*(CM(1,orna)-CM(1,ornb));
        by=bx;
        h=CM(3,i)+rand*(CM(3,orna)-CM(3,ornb));
        Asx=CM(4,i)+rand*(CM(4,orna)-CM(4,ornb));
        Asy=Asx;
        TDA=Asx+Asy;
        BK=((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
        DK=((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;
    else
        bx=CM(1,i)+rand()*(CM(1,ornb)-CM(1,orna));
        by=bx;
        h=CM(3,i)+rand()*(CM(3,ornb)-CM(3,orna));
        Asx=CM(4,i)+rand()*(CM(4,ornb)-CM(4,orna));
        Asy=Asx;
        TDA=Asx+Asy;
        BK=((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
        DK=((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;
    end
end

```

Şekil 3.39: Betonarme temel için öğrenci fazının oluşturulması.

3.3.6. FPA Oluşturulması

Bölüm 3.3.5’te anlatılan TLBO algoritması kodları silinerek, çiçek tozlaşma algoritması kodları yazılmıştır. FPA kodları, iterasyon döngüsü içerisinde yazılmıştır. Tozlaşma türünün küresel ya da yerel olup olmadığına karar vermek için [0,1] aralığında rastgele sayılar üreten MATLAB

komutu kullanılmıştır. Oluşturulan rastgele sayı 0.5 değerinden küçük ise küresel tozlaşma, aksi halde yerel tozlaşma olarak kabul edilmiştir. Küresel tozlaşma seçilirken levy uçuşu formülü kullanılmıştır. Levy uçuşundaki adım büyüklüğü, en iyi çözüm ve mevcut çözüm değerleri kullanılarak yeni temel eni, boyu, kalınlığı ve donatıları belirlenmiştir. Küresel tozlaşma aşamasından sonra oluşturulan değerler tasarım şartlarından geçirilmiştir. Tasarım şartından geçen çözüm, mevcut en iyi çözümden iyiye hafızaya kaydedilmiştir. Şekil 3.40'ta küresel tozlaşma kodlarına göre yeni çözüm değerlerinin atanması gösterilmiştir.

```
%Küresel polenleşme kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
%Levy dağılımı
levy=(1/(sqrt(2*pi)))*(rand()^-1.5)*exp(-1/(2*rand()));
%Yeni tasarım değişkenleri atanması
bx=CM(1,i)+levy*(eniyibx-CM(1,i));
by=bx;
h=CM(3,i)+levy*(eniyih-CM(3,i));
Asx=CM(4,i)+levy*(eniyiasx-CM(4,i));
Asy=Asx;
TDA=2*Asx;
BK=((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
DK=((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp))*doa*DE;
```

Şekil 3.40: Temel için küresel polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.

“rand” komutu ile oluşturulan sayının 0.5 değerine eşit ya da büyük olması durumunda lokal tozlaşma kodları çalışacaktır. Lokal tozlaşma kodları, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasının öğrenci aşamasına benzer şekildedir. Popülasyon içerisinde seçilen rastgele iki polenin arasındaki fark kullanılarak Şekil 3.41'deki kodlarla lokal tozlaşma sonucu oluşacak çözüm değerleri oluşturulmuştur. Oluşturulan çözüm değerleri TLBO algoritmasındaki gibi yönetmelik şartlarından geçirilmiş ve iyi olan çözüm hafızada tutulmuştur.

```

%Lokal polenleşme
for i=1:ps
    %Rastgele iki farklı polenin (polen a ve polen b) seçilmesi
    pola=(ceil(rand*ps));
    polb=(ceil(rand*ps));
    while pola==polb %Aynı polen denk gelirse, tekrar rastgele seçim
yapılır
        pola=(ceil(rand*ps));
        polb=(ceil(rand*ps));
    end

    %Lokal polenleşme fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
    bx=CM(1,i)+rand*(CM(1,pola)-CM(1,polb));
    by=bx;
    h=CM(3,i)+rand*(CM(3,pola)-CM(3,polb));
    Asx=CM(4,i)+rand*(CM(4,pola)-CM(4,polb));
    Asy=Asx;
    TDA=Asx+Asy;
    BK= ((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
    DK= ((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;

```

Şekil 3.41: Temel için lokal polenleşme aşamasına göre yeni değişkenler oluşturulması.

4. BULGULAR

Bu bölümde, 3 numaralı başlıkta anlatılan tasarım kriterleri altında, MATLAB kodları betonarme kolon, betonarme kiriş ve betonarme kare tekil temel için çalıştırılmıştır. İlk olarak, yapı elemanlarının geleneksel beton kullanılarak tasarlandığı varsayılmıştır ve bu durumda minimum emisyonu veren tasarım değerleri bulunmuştur. Daha sonra ise geopolimer beton kullanılması durumunda minimum emisyonu veren tasarım değerleri bulunmuştur. Emisyon miktarları hesaplanırken, betonarme donatısı kaynaklı emisyon miktarı da hesaba katılmıştır. Betonarme elemanda yer alan donatı üretiminden kaynaklı emisyon miktarı ile toplam kesit alanından donatı alanı çıkarılarak geriye kalan beton miktarından kaynaklı emisyon miktarı toplanarak, tablolarda “TE” toplam emisyon satırında gösterilmiştir. Donatı kaynaklı emisyon hesaplanırken; donatı bindirme payı, betonarme etriyesi ve çirozu hesaba katılmamıştır. Her bir yapı elemanı için sonuçlar; 20 nüfuslu bir popülasyonda, ilk olarak 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon için algoritmanın birer kez çalıştırılmasıyla bulunmuştur. Daha sonra ise algoritmanın birbirinden bağımsız şekilde 30 kez çalıştırılmasıyla sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada oluşturulan algoritmalarda ana amaç, beton ve donatı alanlarını yönetmeliklere ve tasarım şartlarına uygun bir şekilde değiştirerek minimum CO₂ emisyonu veren optimum tasarım değerlerini elde etmektir. Bu doğrultuda çalıştırılan kodlama sonuçları tablolar halinde bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3’te verilmiştir.

4.1. BETONARME KOLON OPTİMİZASYONU

Tablo 4.1’de ve Tablo 4.2’de geleneksel beton ile tasarlanmış kolonun 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Kolon boyutları tam sayı olacak şekilde, donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Kolon boyutları ve donatı alanı dışındaki değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Geleneksel beton ve geopolimer beton kullanılarak yapılan kolon tasarımında TLBO algoritma değişkenleri; kolon genişliği (b), kolon yüksekliği (h), donatı alanıdır (A_{st}). Beton kaynaklı emisyon (BK), donatı kaynaklı emisyon (DK) ve toplam emisyon (TE) miktarları, algoritma değişkenlerine göre aşağıdaki sabit formüllerle hesaplanmıştır:

$$BK = (b \times h - A_{st}) \times h_k \times GBE \quad (4.1)$$

$$DK = (A_{st}) \times h_k \times doa \times DE \quad (4.2)$$

$$TE = BK + DK \quad (4.3)$$

h_k , kolon yüksekliğini; GBE , geleneksel ya da geopolimer betonun birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını; doa , betonarme donatısı özgül ağırlığını; DE , donatı birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını göstermektedir.

Tablo 4.1: TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları.

Geleneksel Beton İle Tasarlanmış Kolon							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
kolon genişliği, b (cm)	29,00	29,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
kolon yüksekliği, h (cm)	68,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
donatı alanı, A_{st} (cm ²)	78,14	76,07	76,26	76,79	76,79	76,79	76,79
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	178,30	178,04	176,03	174,70	174,70	174,70	174,70
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	139,85	136,14	136,49	137,43	137,43	137,43	137,43
toplam emisyon, TE (kg)	318,15	314,18	312,52	312,13	312,13	312,13	312,13

Tablo 4.2: FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları.

Geleneksel Beton İle Tasarlanmış Kolon							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
kolon genişliği, b (cm)	31,00	30,00	29,00	28,00	28,00	28,00	28,00
kolon yüksekliği, h (cm)	65,00	67,00	69,00	70,00	70,00	70,00	70,00
donatı alanı, A_{st} (cm ²)	76,54	75,98	76,95	76,79	76,79	76,79	76,79
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	181,45	181,09	175,41	174,70	174,70	174,70	174,70
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	136,98	135,98	137,73	137,43	137,43	137,43	137,43
toplam emisyon, TE (kg)	318,43	317,07	313,14	312,13	312,13	312,13	312,13

Tablo 4.3' ve Tablo 4.4'te geopolimer beton ile tasarlanmış kolonun 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Kolon boyutları tam sayı olacak şekilde, donatı alanı virgülden

sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Kolon boyutları ve donatı alanı dışındaki değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Tablo 4.3: TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları.

Geopolimer Beton İle Tasarlanmış Kolon							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
kolon genişliği, b (cm)	40,00	44,00	42,00	43,00	43,00	43,00	43,00
kolon yüksekliği, h (cm)	66,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
donatı alanı, A_{st} (cm ²)	63,40	49,32	50,08	48,58	48,52	48,51	48,51
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	88,01	101,58	99,12	101,68	101,80	101,81	101,81
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	113,45	88,26	89,63	86,95	86,83	86,81	86,81
toplam emisyon, TE (kg)	201,46	189,84	188,75	188,63	188,63	188,62	188,62

Tablo 4.4: FPA'ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış kolon tasarım sonuçları.

Geopolimer Beton İle Tasarlanmış Kolon							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
kolon genişliği, b (cm)	42,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00
kolon yüksekliği, h (cm)	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
donatı alanı, A_{st} (cm ²)	51,02	49,34	48,59	48,70	48,53	48,51	48,51
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	97,89	100,51	101,73	101,48	101,81	101,81	101,81
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	91,30	88,3	86,96	87,15	86,85	86,81	86,81
toplam emisyon, TE (kg)	189,19	188,81	188,69	188,63	188,66	188,62	188,62

Hem geleneksel beton ile hem de geopolimer beton ile tasarımda kolon yüksekliği 3 m. olarak alınmıştır.

4.2. BETONARME KİRİŞ OPTİMİZASYONU

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da geleneksel beton ile tasarlanmış kirişin 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Kiriş boyutları tam sayı olacak şekilde, donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Donatı oranları virgülden sonra dört haneye, kalan değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Geleneksel beton ve geopolimer beton kullanılarak yapılan kiriş tasarımında algoritma değişkenleri; kiriş genişliği (b_w), kiriş yüksekliği (h), kiriş alt kısmındaki donatı oranı (ρ) ve kiriş üst kısmındaki donatı oranıdır (ρ'). Toplam donatı alanı (TDA), beton kaynaklı emisyon

(BK), donatı kaynaklı emisyon (DK) ve toplam emisyon (TE) miktarları, algoritma değişkenlerine göre aşağıdaki sabit formüllerle hesaplanmıştır:

$$TDA = (\rho + \rho') \times b_w \times h \quad (4.4)$$

$$BK = (b_w \times h - A_{st}) \times L \times GBE \quad (4.5)$$

$$DK = TDA \times L \times doa \times DE \quad (4.6)$$

$$TE = BK + DK \quad (4.7)$$

L , kiriş uzunluğunu; GBE , geleneksel ya da geopolimer betonun birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını; doa , betonarme donatısı özgül ağırlığını; DE , donatı birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını göstermektedir.

Tablo 4.5: TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları.

Geleneksel Beton İle Tasarlanmış Kiriş							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
kiriş genişliği, b_w (cm)	27,00	26,00	26,00	26,00	26,00	25,00	25,00
kiriş yüksekliği, h (cm)	59,00	59,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
alt taraftaki donatı oranı, ρ	0,0190	0,0192	0,0196	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
üst taraftaki donatı oranı, ρ'	0,0061	0,0052	0,0035	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021
toplam donatı alanı, TDA (cm ²)	37,28	36,52	34,56	33,13	33,10	33,10	33,10
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	147,48	138,51	138,49	139,02	139,07	139,06	139,06
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	66,72	65,36	61,84	59,29	59,24	59,24	59,24
toplam emisyon, TE (kg)	214,20	203,87	200,33	198,31	198,31	198,30	198,30

Tablo 4.6: FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları.

Geleneksel Beton İle Tasarlanmış Kiriş							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
kiriş genişliği, b_w (cm)	38,00	26,00	28,00	25,00	25,00	26,00	25,00
kiriş yüksekliği, h (cm)	51,00	57,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
alt taraftaki donatı oranı, ρ	0,0185	0,0197	0,0181	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
üst taraftaki donatı oranı, ρ'	0,0056	0,0084	0,0020	0,0023	0,0021	0,002	0,0021
toplam donatı alanı, TDA (cm ²)	45,63	40,13	32,52	33,30	33,11	33,09	33,15
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	175,60	131,44	150,95	138,83	139,04	139,14	138,99
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	81,66	71,83	58,20	59,59	59,26	59,22	59,32
toplam emisyon, TE (kg)	257,26	203,27	209,15	198,42	198,30	198,36	198,31

Tablo 4.7 ve 4.8’de geopolimer beton ile tasarlanmış kirişin 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Kiriş boyutları tam sayı olacak şekilde, donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Donatı oranları virgülden sonra dört haneye, kalan değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Tablo 4.7: TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları.

Geopolimer Beton İle Tasarlanmış Kiriş							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
kiriş genişliği, b (cm)	34,00	27,00	26,00	26,00	26,00	25,00	25,00
kiriş yüksekliği, h (cm)	59,00	59,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
alt taraftaki donatı oranı, ρ	0,0153	0,0191	0,0194	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
üst taraftaki donatı oranı, ρ'	0,0024	0,0044	0,0025	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021
toplam donatı alanı, TDA (cm ²)	33,02	36,70	33,59	33,11	33,10	33,10	33,10
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	68,07	52,62	51,91	50,61	50,62	50,61	50,61
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	59,10	65,67	60,11	59,35	59,24	59,24	59,24
toplam emisyon, TE (kg)	127,17	118,29	112,02	109,96	109,86	109,85	109,85

Tablo 4.8: FPA’ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış kiriş tasarım sonuçları.

Geopolimer Beton İle Tasarlanmış Kiriş							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
kiriş genişliği, b (cm)	28,00	26,00	25,00	26,00	25,00	25,00	26,00
kiriş yüksekliği, h (cm)	56,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
alt taraftaki donatı oranı, ρ	0,02	0,0182	0,0187	0,0200	0,0198	0,0200	0,0200
üst taraftaki donatı oranı, ρ'	0,0085	0,0058	0,0052	0,0016	0,0023	0,0021	0,0019
toplam donatı alanı, TDA (cm ²)	42,62	35,87	35,53	33,13	33,21	33,10	32,97
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	50,2	50,32	50,12	51,68	50,60	50,61	50,89
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	76,27	64,2	63,58	59,28	59,44	59,24	58,99
toplam emisyon, TE (kg)	126,47	114,52	113,7	110,96	110,04	109,85	109,88

Hem geleneksel beton ile hem de geopolimer beton ile tasarımda kiriş uzunluğu 3 m. olarak alınmıştır.

4.3. BETONARME KARE TEKİL TEMEL OPTİMİZASYONU

Tablo 4.9 ve Tablo 4.10’da geleneksel beton ile tasarlanmış temelin 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Temel boyutları ve donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Kalan değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Geleneksel beton ve geopolimer beton kullanılarak yapılan temel tasarımında TLBO algoritması değişkenleri; temel eni ve boyu (b_x, b_y), temel kalınlığı (h) ve temel eksenleri donatı alanlarıdır (As_x, As_y). Toplam donatı alanı (TDA), beton kaynaklı emisyon (BK), donatı kaynaklı emisyon (DK) ve toplam emisyon (TE) miktarları, algoritma değişkenlerine göre aşağıdaki sabit formüllerle hesaplanmıştır:

$$TDA = As_x + As_y \quad (4.8)$$

$$BK = b_x \times b_y \times h - TDA \times (b_x + 2 \times (h - 2 \times pp)) \times GBE \quad (4.9)$$

$$DK = (TDA \times (b_x + 2 \times (h - pp))) \times doa \times DE \quad (4.10)$$

$$TE = BK + DK \quad (4.11)$$

pp , paspayını; GBE , geleneksel ya da geopolimer betonun birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını; doa , betonarme donatısı özgül ağırlığını; DE , donatı birim miktarından kaynaklanan emisyon miktarını göstermektedir.

Tablo 4.9: TLBO algoritmasına göre geleneksel beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları.

Geleneksel Beton İle Tasarlanmış Kare Tekil Temel							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
temel eni, b_x (m)	3,79	3,04	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
temel boyu, b_y (m)	3,79	3,04	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
temel kalınlığı, h (m)	0,79	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71
x eksenli boyunca donatı alanı, As_x (cm ²)	61,01	40,43	40,08	39,92	39,92	39,92	39,92
y eksenli boyunca donatı alanı, As_y (cm ²)	61,01	40,43	40,08	39,92	39,92	39,92	39,92
toplam donatı alanı, TDA (cm ²)	122,01	80,85	80,16	79,83	79,83	79,83	79,83
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	3565,92	2066,17	2045,10	2040,89	2040,89	2040,89	2040,89
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	376,34	205,59	203,11	202,12	202,12	202,12	202,12
toplam emisyon, TE (kg)	3942,26	2271,76	2248,21	2243,01	2243,01	2243,01	2243,01

Tablo 4.10: FPA'ya göre geleneksel beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları.

Geleneksel Beton İle Tasarlanmış Kare Tekil Temel							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
temel eni, b_x (m)	3,23	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
temel boyu, b_y (m)	3,23	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
temel kalınlığı, h (m)	0,74	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
x eksenli boyunca donatı alanı, As_x (cm ²)	44,2	40,12	39,92	39,92	39,92	39,92	39,92
y eksenli boyunca donatı alanı, As_y (cm ²)	44,2	40,12	39,92	39,92	39,92	39,92	39,92
toplam donatı alanı, TDA (cm ²)	88,4	80,24	79,84	79,83	79,83	79,83	79,83
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	2403,4	2050,90	2040,90	2040,89	2040,89	2040,89	2040,89
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	237,02	203,48	202,12	202,12	202,12	202,12	202,12
toplam emisyon, TE (kg)	2640,42	2254,38	2243,02	2243,01	2243,01	2243,01	2243,01

Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de geopolimer beton ile tasarlanmış temelin 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 iterasyon sonucunda minimum CO₂ emisyonunu veren tasarım değerleri ile emisyon miktarları verilmiştir. Temel boyutları ve donatı alanı virgülden sonra iki hane olacak şekilde yukarıya yuvarlanmıştır. Kalan değerler ise virgülden sonra iki haneye yuvarlanmıştır.

Tablo 4.11: TLBO algoritmasına göre geopolimer beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları

Geopolimer Beton İle Tasarlanmış Kare Tekil Temel							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
temel eni, b_x (m)	3,59	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
temel boyu, b_y (m)	3,59	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
temel kalınlığı, h (m)	0,77	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71
x eksenli boyunca donatı alanı, As_x (cm ²)	51,31	40,40	39,93	39,91	39,91	39,91	39,91
y eksenli boyunca donatı alanı, As_y (cm ²)	51,31	40,40	39,93	39,91	39,91	39,91	39,91
toplam donatı alanı, TDA (cm ²)	102,62	80,80	79,86	79,83	79,83	79,83	79,83
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	1124,52	748,57	743,06	742,73	742,73	742,73	742,73
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	300,84	205,11	202,23	202,12	202,12	202,12	202,12
toplam emisyon, TE (kg)	1425,36	953,68	945,29	944,85	944,85	944,85	944,85

Tablo 4.12: FPA'ya göre geopolimer beton ile tasarlanmış temel tasarım sonuçları

Geopolimer Beton İle Tasarlanmış Kare Tekil Temel							
	İterasyon Sayısı						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Tasarım Değerleri							
temel eni, b_x (m)	3,1	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
temel boyu, b_y (m)	3,1	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
temel kalınlığı, h (m)	0,76	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71
x eksenli boyunca donatı alanı, As_x (cm ²)	43,84	39,99	39,95	39,91	39,91	39,91	39,91
y eksenli boyunca donatı alanı, As_y (cm ²)	43,84	39,99	39,95	39,91	39,91	39,91	39,91
toplam donatı alanı, TDA (cm ²)	87,68	79,98	79,9	79,83	79,83	79,83	79,83
beton kaynaklı emisyon, BK (kg)	830,5	745,13	743,11	742,73	742,73	742,73	742,73
donatı kaynaklı emisyon, DK (kg)	230,72	202,72	202,31	202,12	202,12	202,12	202,12
toplam emisyon, TE (kg)	1061,22	947,85	945,42	944,85	944,85	944,85	944,85

4.4. ALGORİTMALARIN ÇEVİRİMLİ ÇALIŞTIRILMASI

Önceki bölümlerde oluşturulan algoritmaların birbirinden bağımsız şekilde 30 kez çalıştırılmasıyla elde edilen aritmetik ortalama, standart sapma, minimum emisyonu veren iterasyon sayısı gibi değerler Tablo 4.13, Tablo 4.14 ve Tablo 4.15'te verilmiştir.

4. Bölümün önceki başlıklarında algoritmalar, önceden belirlenen iterasyonlar tamamlanana kadar devam ederken; bu başlıkta, maksimum iterasyon sayıları kolon ve kiriş için 5000, temel için 500 olacak ve çevrimli çalıştırma sonucunda minimuma ulaşılan ilk iterasyon sayısını gösterecek şekilde ayarlanarak sonuçlar sunulmuştur. İlgili tablolar, FPA ve TLBO algoritmalarının geleneksel beton ve geopolimer beton kullanılma durumlarında verdiği sonuçlara göre oluşturulmuştur.

Tablo 4.13: Kolon tasarımı için istatistiksel sonuçlar.

Kolon Tasarımı İstatistiksel Sonuçlar				
	TLBO	FPA	TLBO	FPA
	Geleneksel	Geleneksel	Geopolimer	Geopolimer
Kolon eni (cm)	28	28	43	43
Kolon boyu (cm)	70	70	70	70
Toplam donatı alanı (cm ²)	76,79	76,79	48,51	48,51
Minimum emisyon (kg)	312,13	312,13	188,62	188,62
Aritmetik ortalama (kg)	312,13	312,20	188,62	189,06
Standart sapma	0	0,17	4,40x10 ⁻⁹	1,80
İterasyon sayısı	1733	410	4555	639

Tablo 4.14: Kiriş tasarımı için istatistiksel sonuçlar.

Kiriş Tasarımı İstatistiksel Sonuçlar				
	TLBO Geleneksel	FPA Geleneksel	TLBO Geopolimer	FPA Geopolimer
Kiriş eni (cm)	25	25	25	25
Kiriş boyu (cm)	60	60	60	60
Toplam donatı alanı (cm ²)	33,10	33,10	33,10	33,10
Minimum emisyon (kg)	198,30	198,30	109,85	109,85
Aritmetik ortalama (kg)	198,30	198,41	109,85	110,07
Standart sapma	$3,59 \times 10^{-10}$	0,27	$5,41 \times 10^{-11}$	0,92
İterasyon sayısı	4777	1029	4882	947

Tablo 4.15: Temel tasarımı için istatistiksel sonuçlar.

Temel Tasarımı İstatistiksel Sonuçlar				
	TLBO Geleneksel	FPA Geleneksel	TLBO Geopolimer	FPA Geopolimer
Temel eni (m)	3,03	3,03	3,03	3,03
Temel boyu (m)	3,03	3,03	3,03	3,03
Temel kalınlığı (m)	0,71	0,71	0,71	0,71
Toplam donatı alanı (cm ² , her iki eksendeki)	79,83	79,83	79,83	79,83
Minimum emisyon (kg)	2243,01	2243,01	944,85	944,85
Aritmetik ortalama (kg)	2243,01	2243,01	944,87	944,85
Standart sapma	$1,07 \times 10^{-5}$	$2,68 \times 10^{-6}$	0,12	$2,82 \times 10^{-9}$
İterasyon sayısı	460	307	473	264

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

FPA ve TLBO algoritmaları sonucunda tasarım şartlarını sağlayan ve minimum emisyonu amaçlayan boyutlandırmalar elde edilmiştir.

Geleneksel betonun kullanıldığı kolon tasarım algoritmalarına göre; tek seferli çalıştırmada tasarım değişkenleri yaklaşık 500 iterasyonda optimuma yakın değerler vermeye başlamıştır. 30 kez çevrimli çalıştırmada ise TLBO 1733. iterasyonda, FPA ise 410. iterasyonda minimum emisyonu vermiştir. Standart sapmalar göz önüne alındığında ise TLBO, FPA'ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Algoritmaların başında belirtilen yük ve tasarım şartları altında her iki algoritmada da; optimum kolon boyutumuz 28 x 70 cm ve optimum donatı alanımız 76.79 cm² olduğu zaman minimum CO₂ emisyonumuz olan 312.13 kg değeri elde edilmiştir.

Geleneksel betonlu kolon ile aynı tasarım şartlarına sahip, geopolimer betonun kullanıldığı kolon tasarım algoritmalarına göre; tek seferli çalıştırmada tasarım değişkenleri yaklaşık 5000 iterasyonda optimuma yakın değerler vermeye başlamıştır. 30 kez çevrimli çalıştırmada ise TLBO 4555. iterasyonda, FPA ise 639. iterasyonda minimum emisyonu vermiştir. Standart sapmalar göz önüne alındığında ise TLBO, FPA'ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Bu duruma göre; her iki algoritma sonucuna göre de optimum tasarımıımız 43 x 70 cm kolon boyutlarına ve 48.51 cm² donatı alanına sahiptir. Fabrikada beton ve donatı malzemeleri üretimi kaynaklı toplam emisyon ise 188.62 kg'dır.

Geleneksel betonun kullanıldığı kiriş tasarım algoritmalarından TLBO'ya göre; tasarım değişkenleri, tek seferli çalıştırma sonucunda, yaklaşık 5000 iterasyonda optimum değerlere yaklaşmıştır. FPA ile tasarımda ise TLBO ile elde edilene yakın sonuçlar elde edilmiştir ancak TLBO gibi 5000 iterasyon ve sonrasında kararlı sonuçlar vermemiştir. 30 kez çevrimli çalıştırma sonuçları dikkate alındığında ise; TLBO 4777. iterasyonda, FPA 1029. iterasyonda minimum sonuca ulaşmıştır. Standart sapmalar göz önüne alındığında ise TLBO algoritması, FPA'ya göre daha iyi sonuç vermektedir. Her iki algoritma sonuçları baz alındığında; algoritmanın başında belirtilen yük ve tasarım şartları altında; optimum kiriş boyutumuz 25 x 60 cm ve optimum donatı alanımız 33.10 cm² olduğu zaman minimum CO₂ emisyonumuz olan 198.30 kg değeri elde edilmiştir.

Geleneksel betonlu kiriş ile aynı tasarım şartlarına sahip, geopolimer betonun kullanıldığı kiriş tasarım algoritmaların sonuçlarına baktığımızda da; tek seferli çalıştırma şartı altında, TLBO algoritması FPA'ya göre 5000 iterasyon civarlarında daha istikrarlı sonuçlar vermiştir. 30 kez çevrimli sonuçlar incelendiğinde ise TLBO algoritması 4882. iterasyonda, FPA ise 947. iterasyonda minimum sonuçları vermektedir. Standart sapmalar incelendiğinde ise TLBO'nun FPA'ya göre daha iyi olduğu görülmüştür. Her iki algoritma sonuçları incelendiğinde, optimum tasarımıımız 25 x 60 cm kiriş boyutlarına ve 33.10 cm² donatı alanına sahiptir. Fabrikada beton ve donatı malzemeleri üretimi kaynaklı toplam emisyon ise 109.85 kg'dır.

Geleneksel betonun kullanıldığı kare tekil temel tasarım algoritmalarına göre; tek seferli çalıştırma şartıyla, tasarım değişkenleri her iki algoritma için de 500 iterasyon civarlarında optimuma yaklaşmıştır. Birbirinden bağımsız 30 kez çalıştırılma sonuçlarına göre ise; TLBO 460. iterasyonda, FPA 307. iterasyonda minimum sonuçlara ulaşmıştır. Standart sapmalar incelendiğinde ise FPA'nın TLBO algoritmasından daha iyi olduğu gözükmemektedir. Algoritmaların başında belirtilen yük ve tasarım şartları altında; optimum boyutumuz, her iki algoritma için de 3.03 x 3.03 x 0.71 m ve optimum donatı alanımız 79.83 cm² olduğu zaman minimum CO₂ emisyonumuz olan 2243.01 kg değeri elde edilmiştir.

Geleneksel betonlu kare tekil temel ile aynı tasarım şartlarına sahip, geopolimer betonun kullanıldığı kare tekil tasarım algoritmalarına göre; tek seferli çalıştırma sonuçlarına göre, tasarım değişkenlerinin 500 iterasyon civarlarında optimuma yaklaştığı görülmüştür. 30 kez çalıştırma sonuçlarına göre ise; TLBO 473. iterasyonda, FPA ise 264. iterasyonda minimum emisyonu vermiştir. Standart sapmalar incelendiğinde ise; FPA, TLBO algoritmasına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Her iki algoritma sonuçları incelendiğinde optimum tasarımıımız 3.03 x 3.03 x 0.71 m temel boyutlarına ve 79.83 cm² donatı alanına sahiptir. Fabrikada beton ve donatı malzemeleri üretimi kaynaklı toplam emisyon ise 944.85 kg'dır.

1 m³ geleneksel beton kaynaklı CO₂ emisyon miktarı 316 kg, geopolimer beton kaynaklı emisyon ise 115 kg olarak alınmıştır [58]. Sadece betondan üretilen bir yapı düşünüldüğünde, geopolimer kullanılarak emisyon miktarı %64 azalmaktadır. Tezde kullanılan algoritmalar baz alındığında, donatının da hesaba katıldığı geopolimer betonlu tasarım sonuçlarına göre yaklaşık olarak; kolon imalatında %40, kiriş imalatında %45, temel imalatında ise %58 CO₂ emisyonu azalmaktadır.

Kolon tasarımında geopolimer beton kullanma kriteri, kolon boyutlarını arttırmış olup, donatı miktarını azaltmıştır. Kiriş ve temel tasarımı ise, geopolimer kullanma kriteri, boyutları ve donatı miktarını değiştirmemiştir. Yani kiriş ve temel tasarımı minimum emisyonu veren dizayn beton türüne göre değişmemiştir.

Yukarıdaki hesaplara sadece fabrikada üretim aşamasında ortaya çıkan emisyon miktarları katılmıştır. İmalat yerine ulaştırma, yerleştirme, kütleme gibi nedenlerden kaynaklı emisyon miktarları katılmamıştır. Ayrıca etriye, çiroz gibi beton metrajını düşürüp; donatı miktarını arttıracak etkenler göz önüne alınmamıştır.



KAYNAKLAR

- [1]. Climate action and support trends, 2019, *United Nations: Climate Change*.
- [2]. He, Z., Zhu X., Wang J., Mu M., Wang Y., 2019, Comparison of CO₂ emissions from OPC and recycled cement production, *Elsevier: Construction and Building Materials*, 211, 965-973.
- [3]. Energy Efficiency and CO₂ Reduction in the Iron and Steel Industry, 2019, *European Commission*.
- [4]. Davidovits, D., 2002, Environmentally Driven Geopolymer Cement Applications, *Geopolymer 2002 Conference*, 28-29 October Melbourne.
- [5]. Shayan, A., Xu, A., Phaendonos, A. F., 2013, Field application of geopolymer concrete: a measure towards reducing carbon dioxide emission, https://www.researchgate.net/profile/Fred_Andrews-Phaendonos/publication/284869336_Field_applications_of_geopolymer_concrete_A_measure_towards_reducing_carbon_dioxide_emission/links/5c5006fea6fdccd6b5d180e9/Field-applications-of-geopolymer-concrete-A-measure-towards-reducing-carbon-dioxide-emission.pdf [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [6]. Mishra, G., 2014, *Geopolymer Concrete – Properties, Composition and Applications*, <https://theconstructor.org/concrete/geopolymer-concrete-ecofriendly-construction-material/9430/>, [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [7]. <https://www.greenroofs.com/projects/global-change-institute/>, [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [8]. Davidovits, D., 2002, 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs, *Geopolymer 2002 Conference*, 28-29 October Melbourne.
- [9]. Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., Rangan, V., 2004, On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, *ACI Materials Journal*, 101-M52, 467-472.
- [10]. <https://www.geopolymer.org/applications/geopolymer-cement/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [11]. <https://www.geopolymer.org/library/technical-papers/technical-paper-on-geopolymer-aircraft-pavement/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [12]. Shah, T., Shah, P., Pujara, H., 2017, Eco-friendly Concrete, Pandit Deendayal Petroleum University – Gandhinagar.
- [13]. Aldred, J., Day, J., 2012, Is geopolymer concrete a suitable alternative to traditional concrete?, *37th conference on our world in concrete & structures*, 29-31 August 2012 Singapore.

- [14]. Singh, B., Ishwarya, G., Gupta, M., Bhattacharyya, S.K., 2013, Geopolymer concrete: a review of some recent developments, *Elsevier: construction and building materials*, 85 (2015), 78-90.
- [15]. Nuriddin, M. F., Malkawi, A. F., Fauzi, A., Mohammed, B. S., Al-Mattameh, H., M., 2016, Effects of alkaline solution on the microstructure of HCFA geopolymers, *Engineering challenges for sustainable future: proceedings of the 3rd international conference on civil, offshore and environmental engineering*, 2016 Zawawi, London, CRC Press, ISBN: 978-1-138-029878-1, 505-505.
- [16]. Rovnanik, P., 2009, Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer, *Elsevier: construction and building materials*, 24 (2010), 1176-1183.
- [17]. Adam, A. A. A., 2014, The effect of temperature and duration of curing on the strength of fly ash based geopolymer mortar, *2nd international conference on sustainable civil engineering structures and construction materials*, 2014 Indonesia, Elsevier, 95 (2014), 410-414.
- [18]. Kong, D., L., Y., Sanjayan, J., G., 2009, Effect of elevated temperatures on geopolymer paste, mortar and concrete, *Elsevier: Cement and Concrete Research*, 40 (2010), 334-339.
- [19]. Yewale, V., V., Nikam, P., G., 2018, Evaluation of efficient type of curing for geopolymer concrete, *Proceedings of 1st shri chhatrapati shivaji maharaj QIP conference on engineering innovations*, 21-22 February Chhatrapati Shivaji Maharaj College of Engineering Nepti-Ahmednagar, JournalNX, ISSN No: 2581-4230, 293-295.
- [20]. Yunsheng, Z., Wei, S., Qianli, C., Lin, C., 2006, Synthesis and heavy metal immobilization behaviors of slag based geopolymer, *Journal of Hazardous Materials*.
- [21]. Gholampour, A., Ozbakkaloglu, T., Ng, C., T., 2019, Ambient and oven cured geopolymer concretes under active confinement, *Elsevier: construction and building materials*, 228 (2019) 116722.
- [22]. Nath, P., Sarker, P., K., 2014, Use of OPC to improve setting and early strength properties of low calcium fly ash geopolymer concrete cured at room temperature, *Elsevier: Cement and Concrete Composites*, 55 (2015), 205-214.
- [23]. Li, C., Gong, X., Cui, S., Wang, Z., Zheng, Y., Chi, B., 2011, CO₂ Emissions due to Cement Manufacture, *Material Science Forum*, ISSN: 1662-9752 (685), 181-187.
- [24]. Akçansa, 2018, Sürdürülebilirlik raporu 2016-2017, <http://www.akcansa.com.tr/downloads/surdurebilirlik/AKC-surdurulebilirlikRapor-261118.pdf> , [Ziyaret tarihi: 3 Kasım 2019].
- [25]. McLellan, B., C., Williams, R., P., Lay, J., Riessen, A. V., Corder, G., D., 2011, Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement, *Journal of cleaner production*, 19 (9-10), 1080-1090.

- [26]. Heuristic, <https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic>, [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [27]. Toklu, Y., C., Toklu, N., E., 2013, Analysis of structures by total potential optimization using meta-heuristic algorithms (tpo/ma), *Theory and applications nova science*, Chapter 16, 345-374.
- [28]. Blum, C., Roli, A., 2001, Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison, *ACM computing surveys*, 35, 268-308.
- [29]. Fontbana, F., T., 2015, Optimisation methods meet the smart grid , Thesis (PhD), Universitat de Girona.
- [30]. İşçi, Ö., Korukoğlu, S., 2003, Genetik algoritma yaklaşımı ve yöneylem araştırmasında bir uygulama, *Yönetim ve ekonomi*, 10 (2), 191-208.
- [31]. Onan, A., *Yapay zeka: genetik algoritma*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, http://aytugonan.cbu.edu.tr/YZM3217/LectureNotes/YZM3217_lecture13.pdf, [Ziyaret tarihi: 3 Kasım 2019].
- [32]. Onan, A., 2013, Metasezgisel yöntemler ve uygulama alanları, *Çukurova Üniversitesi iibf dergisi*, 17 (2), 113-128.
- [33]. Rui, S., Z., Lin, Z., L., Xing, Z., W., 2019, Study on minimum emission control strategy on arterial road based on improved simulated annealing genetic algorithm, *Elsevier: Physica A*, 537 (2020) 122691.
- [34]. Colorni, A., Dorigo, M., Maniezzo, V., 1991, Distributed Optimization by Ant Colonies, *European conference on artificial life*, January 1991 Paris, Elsevier publishing, 134-142.
- [35]. Ant colony optimization algorithms, https://en.wikipedia.org/wiki/Ant_colony_optimization_algorithms, [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [36]. Junior, L., S., Nedjah, N., Mourelle, L., M., 2013, Routing for applications in NoC using ACO-based algorithms, *Elsevier: applied soft computingi*, 13 (2013), 2224-2231.
- [37]. Aydoğdu, İ., Saka, M., P., 2011, Ant colony optimization of irregular steel frames including elemental warping effect, *Elsevier: Advances in Engineering Software*, 44 (2012), 150-160.
- [38]. Kennedy, J., Eberhart, R., 1995, Particle Swarm Optimization, *Proceedings of 1995 ieee international conference*, 21-27 May 1995 Nagoya-Aichi-Japan, IEEE catalog number: 95CH3461-1, 1942-1948.
- [39]. Introduction to Particle Swarm Optimization (PSO), <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-particle-swarm-optimizationpso/>, [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].

- [40]. Rashid, M., H., 2018, *Novel AI-based soft computing applications in motor drives*, Power Electronics Handbook, In: Rashid, M., H. (ed.), Chapter 38, Butterworth-Heinemann, ISBN: 978-0-12-811407-0, 1261-1302.
- [41]. <https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/swarm-optimization-goodbye-gradients>, [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [42]. Andres, C., Lozano, S., 2005, A particle swarm optimization algorithm for part-machine grouping, *Elsevier: robotics and computer-integrated manufacturing*, 22 (2006), 468-474.
- [43]. Eberhart, R., C., Shi, Y., 2001, Particle swarm optimization: developments, applications and resources, Institute of electrical and electronics engineers, 0-7803-6657-3/01, 81-86.
- [44]. Schutte, J., F., Groenwold, A., A., 2003, Sizing design of truss structures using particle swarms, *Springer-Verlag*, 25, 261-269.
- [45]. Lei, Z., Ziyang, L., 2009, Dam safety monitoring forecast model based on CPSO, *Institute of electrical and electronics engineers*, DOI: 10.1109/IWISA.2009.5072798.
- [46]. McCarthy, Tm, J., McCluskey, S., 2009, A particle swarm optimisation approach to reinforced concrete beam design according to AS3600, *Proceedings of the first international conference on soft computing technology in civil, structural and environmental engineering*, 1-4 September Madeira-Portugal, Madeira, Civil-Comp Press, 1-14.
- [47]. Glover, F., Laguna, M., Marti, R., 2008, *Tabu Search*, DOI: 10.1007/978-1-4615-6089-0.
- [48]. Arıkan, M., 2016, İş yükü dengelemeli ikinci tip basit montaj hattı dengeleme problemi için bir tabu arama algoritması, *Gazi Üniversitesi mühendislik mimarlık fakültesi dergisi*, 32:4 (2017), 1169-1179.
- [49]. Abido, M., A., 2002, Optimal power flow using tabu search algorithm, *Electric Power Components and Systems*, 30, 469-483.
- [50]. Değertekin, S., Ö., Ülker, M., Hayalioğlu, M., S., 2006, Optimum design of nonlinear steel space frames via tabu search method, *Sigma journal of engineering and natural sciences*, 2006 (1), 117-128.
- [51]. Rao, R., V., Savsani, V., J., Vakharia, D., P., 2011, Teaching-learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems, *Elsevier: computer-aided design*, 43 (2011), 303-315.
- [52]. Akay, B., Sahin, O., 2016, Öğretme-öğrenme temelli ve armoni arama algoritmaları ile test verisi üretimi, *10. ulusal yazılım mühendisliği sempozyumu*, 24-26 October Çanakkale, 154-165.

- [53]. Rao, R., V., 2016, Review of applications of TLBO algorithm and a tutorial for beginners to solve the unconstrained and constrained optimization problems, *Decision Science Letters*, 5 (2016), 1-30.
- [54]. Artar, M., 2016, Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile uzay kafes kule yapı sisteminin optimum boyutlandırılması, *Dicle Üniversitesi mühendislik fakültesi mühendislik dergisi*, 7 (3), 471-480.
- [55]. Yang, X., S., 2012, Flower pollination algorithm for global optimization, *Unconventional Computation and Natural Computation*, Vol. 7445, 240-249 (2012)
- [56]. Topçu, A., 2019, *Betonarme I Tablolar*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu>, [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- [57]. Roh, S., Tae, S., Suk, S., J., Ford, G., Shin, S., 2016, Development of a building life cycle carbon emission assessment program (BEGAS2.0) for Korea's green building index certification system, *Elsevier: renewable and sustainable energy reviews*, 53 (2016), 954-965.
- [58]. McLellan, B. C., Williams, R., P., Lay, J., Riessen, A., Corder, G., D., 2011, Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement, *Journal of cleaner production*, 19 (9-10), 1080-1090.

EKLER

EK 1. Kolon için TLBO algoritması kodları

```

%MİN. CO2 EMİSYONU VERECEK ŞEKİLDE TLBO İLE DÖRTGEN KOLON TASARIMI

%SABİT DEĞERLER
%Beton sınıfı: C25/30
%Donatı çeliği sınıfı: B420C
%Paspayı: 4 cm
%Tasarım moment değerleri Mxd=150 kNm, Myd=600 kNm
%Tasarım normal kuvveti Nd=1000 kN
%fck=25 N/mm2 beton karakteristik basınç dayanımı
%fcd=25/1.5=16.67 N/mm2 beton tasarım basınç dayanımı
%fyd=420/1.15=365.22 N/mm2 çelik tasarım akma dayanımı

Mxd=600;
Myd=150;
Nd=1000;
fck=25;
fcd=16.67;
fyd=365.22;

%Algoritma parametreleri
%itersay: maksimum iterasyon sayısı
%ps: popülasyon sayısı

itersay=10;
ps=20;

%YÖNETMELİK ŞARTLARI
%1 -  $N_d \leq 0.9 \cdot f_{cd} \cdot A_c$  (TS500:2000)
%2 -  $N_d \leq 0.4 \cdot f_{ck} \cdot A_c$  (TBDY-2018)
%3 -  $M_{xd} \geq (15 + 0.03h) \cdot N_d$  (TS500:2000)
%4 -  $M_{yd} \geq (15 + 0.03b) \cdot N_d$  (TS500:2000)
%5 -  $b \geq 250$  mm,
%6 -  $h \geq 250$  mm,
%7 -  $b \cdot h \geq 75000$  mm2
%8 -  $\rho_o = (\text{seçilen toplam donatı alanı}) / (b \cdot h)$ ;  $0.01 < \rho_o < 0.04$ 

%Yukarıdaki yönetmelik şartları dışında kolonumuzun kenarları:
%bmaks=700 mm, hmaks=700 mm olsun
bmaks=700; hmaks=700;

%RASTGELE KOLON BOYUTLARI ATANARAK ÇÖZÜM KÜMELERİNİN BULUNMASI

for i=1:ps
    b=250+(bmaks-250)*rand;
    h=250+(hmaks-250)*rand;

    %b ve h değerlerinin cm mertebesine düşürülüp yukarı yuvarlanıp mm
    cinsinden yazılması
    b=ceil(b/10)*10;
    h=ceil(h/10)*10;

```

```

%AYDIN/AKGÜN/TOPÇU tablolarına göre çözüm yapılacaktır:
n=(Nd*10^3)/(b*h*fcd); %Nd geğeri 10^3 ile çarpılarak N birimine
dönüştürülmüştür
mx=(100*Mxd*(10^6))/(b*(h^2)*fcd); %Mxd değeri 10^6 ile çarpılarak Nmm
birimine dönüştürülmüştür
my=(100*Myd*(10^6))/((b^2)*h*fcd); %Myd değeri 10^6 ile çarpılarak Nmm
birimine dönüştürülmüştür

if mx>56
    mx=56;
end
if my>56
    my=56;
end

mxeaksi=[0:2:40 44 48 52 56];
myeksi=[0:2:40 44 48 52 56];

%Toplam donatının dört kenara eşit yerleştirildiği donatı planına göre
çözüm yapılacaktır.
%n=0.0 için w tablosu
w00=[6 6 8 12 18 22 28 34 38 44 50 56 60 66 72 78 84
90 96 102 108 120 132 146 158
6 6 8 12 18 22 28 34 40 46 50 56 62 68 74 80 86 92 56
104 110 122 134 146 158
8 8 10 14 18 24 30 36 40 46 52 58 64 70 76 82 88 94 100
106 112 124 136 148 160
12 12 14 16 22 26 32 38 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96 102
108 114 126 138 152 160
18 18 18 22 24 28 34 40 46 52 56 62 70 74 80 86 92 56 104
110 116 130 142 154 160
22 22 24 26 28 32 38 44 48 54 60 66 72 78 84 90 96 102 106
114 120 132 144 158 160
28 28 30 32 34 38 42 46 52 58 64 70 76 80 86 92 96 104 110
116 122 136 148 160 160
34 34 36 38 40 44 46 52 56 62 68 74 80 86 50 96 102 106 114
120 126 140 150 160 160
38 40 40 42 46 48 52 56 62 66 72 78 84 90 94 100 106 112 118
124 130 142 156 160 160
44 46 46 48 52 54 58 62 66 72 76 82 88 94 96 106 110 116 122
128 134 146 158 160 160
50 50 52 54 56 60 64 68 72 76 32 88 92 56 104 110 116 122 126
132 138 150 160 160 160
56 56 58 60 62 66 70 74 78 82 68 92 96 104 108 114 120 126 132
136 142 154 160 160 160
60 62 64 66 70 72 76 80 84 88 92 96 102 106 114 118 124 132 136
142 148 160 160 160 160
66 68 70 72 74 78 80 86 90 94 96 104 108 114 118 124 130 134 142
148 154 160 160 160 160
72 74 76 78 80 84 86 50 54 58 104 108 114 118 124 130 136 140 146
152 160 160 160 160 160
78 80 82 84 86 90 92 56 100 106 110 114 118 124 130 136 140 146 152
158 160 160 160 160 160
84 66 88 90 92 96 96 102 106 110 116 120 124 130 136 140 146 152 158
160 160 160 160 160 160
90 92 94 56 96 102 104 108 112 116 122 126 132 134 140 146 152 158 160
160 160 160 160 160 160

```

```

96 98 100 102 104 108 110 114 118 122 126 132 136 142 146 152 158 160 160
160 160 160 160 160 160
102 104 106 108 110 114 116 120 124 128 132 136 142 148 152 158 160 160 160
160 160 160 160 160 160
108 110 112 114 116 120 122 126 130 134 138 142 148 154 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
120 122 124 126 130 132 136 140 142 146 150 154 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
132 134 136 138 142 144 148 150 156 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
146 146 148 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
158 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160];

```

%n=0.1 için w tablosu

```

w01=[6 6 6 6 8 14 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72 78
84 90 96 104 116 128 140 154
6 6 6 6 8 14 20 26 32 38 44 50 56 62 68 74 80 86 92
98 104 116 130 142 154
6 6 6 6 10 16 22 28 34 40 46 50 58 62 70 76 82 88 94
100 106 120 132 144 156
6 6 6 8 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96
102 108 122 134 146 158
8 8 10 12 18 22 28 32 40 44 50 56 62 68 76 82 88 94 100
106 112 124 136 150 160
14 14 16 18 22 26 32 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96 104
108 116 128 140 152 160
18 20 22 24 28 32 36 42 43 54 56 64 70 76 82 88 94 100 106
112 118 132 144 156 160
24 26 28 30 32 36 42 46 52 56 62 68 74 82 86 92 96 104 110
116 122 134 148 160 160
30 32 34 36 40 42 48 52 58 62 68 74 80 86 90 96 102 108 114
120 126 140 152 160 160
36 38 40 42 44 48 54 56 62 68 72 78 84 90 96 102 106 114 120
126 132 144 154 160 160
42 44 46 48 50 54 58 62 68 72 78 84 90 94 100 108 112 118 124
130 136 148 160 160 160
43 50 50 54 56 60 64 68 74 78 84 90 94 100 106 112 118 124 130
136 142 152 160 160 160
54 56 58 60 62 66 70 74 80 84 90 94 100 106 112 116 122 128 134
140 146 156 160 160 160
60 62 62 66 68 72 76 82 86 90 94 100 106 112 118 122 128 134 140
144 150 160 160 160 160
66 68 70 72 76 78 82 86 90 96 100 106 112 118 124 128 134 140 144
150 156 160 160 160 160
72 74 76 78 82 84 88 92 98 102 108 112 116 122 128 134 138 144 150
156 160 160 160 160 160
78 80 82 84 88 90 94 98 102 106 112 118 122 128 134 138 146 150 156
160 160 160 160 160 160
84 86 88 90 94 96 100 104 106 114 118 124 128 134 140 144 150 156 160
160 160 160 160 160 160
90 92 94 96 100 104 106 110 114 120 124 130 134 140 144 150 156 160 160
160 160 160 160 160 160
96 46 100 102 106 106 112 116 120 126 130 136 140 144 150 156 160 160 160
160 160 160 160 160 160
104 104 106 106 112 116 118 122 126 132 136 142 146 150 156 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160

```



```

6 6 6 6 12 18 24 32 38 44 50 56 64 68 76 82 88 94 100
108 114 126 138 150 160
6 6 10 14 20 24 30 38 44 50 56 62 68 74 80 86 94 96 104
110 118 130 142 154 160
12 14 16 20 26 32 38 42 48 54 62 68 74 78 86 92 96 104 110
116 122 134 146 158 160
20 20 24 28 32 38 44 48 56 60 66 72 78 84 90 96 102 110 116
122 128 140 152 160 160
26 28 30 34 38 44 50 54 60 66 72 78 84 90 96 102 108 114 120
126 132 144 156 160 160
32 34 38 40 46 50 56 62 66 72 78 84 90 96 102 106 114 120 126
130 138 150 160 160 160
38 40 44 48 52 56 62 68 72 78 84 90 96 102 108 114 120 126 132
136 142 154 160 160 160
46 48 50 54 58 64 66 74 78 84 90 96 102 106 112 118 124 130 138
142 148 160 160 160 160
52 54 56 60 64 68 74 78 84 90 96 102 108 114 118 124 130 136 142
148 154 160 160 160 160
58 60 62 66 72 76 80 86 90 96 102 108 112 118 124 130 136 142 146
154 160 160 160 160 160
64 66 70 72 78 82 86 92 98 102 106 114 118 124 130 136 142 148 154
160 160 160 160 160 160
70 72 76 78 84 88 94 96 102 108 114 120 124 130 136 142 148 154 158
160 160 160 160 160 160
78 78 82 86 90 94 98 104 110 114 120 124 130 136 142 148 154 160 160
160 160 160 160 160 160
84 86 88 92 96 100 104 110 116 120 126 132 138 142 146 154 158 160 160
160 160 160 160 160 160
90 92 94 98 102 108 110 116 122 126 130 136 142 148 154 160 160 160
160 160 160 160 160 160
96 98 100 104 108 114 118 122 128 132 138 142 148 154 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
110 112 114 116 120 126 130 134 140 144 150 154 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
122 124 126 130 132 138 142 146 152 156 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
136 138 138 142 146 150 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
148 150 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160];

```

`%n=0.6 için w tablosu`

```

w06=[6 6 6 6 6 6 10 16 24 30 38 44 50 56 64 70 76
82 88 94 100 114 126 138 150
6 6 6 6 6 6 10 18 24 32 38 46 52 58 64 72 78 84 90
96 102 114 128 140 152
6 6 6 6 6 6 12 20 28 34 40 48 54 60 68 74 80 86 92
100 104 118 130 142 156
6 6 6 6 6 10 16 34 32 38 46 52 58 64 70 78 82 90 96
102 106 120 132 146 158
6 6 6 6 10 16 22 28 36 42 50 56 62 70 74 82 88 94 100
106 112 124 138 148 160
6 6 6 10 16 22 28 34 42 48 54 60 66 74 80 86 92 96 104
110 118 130 142 154 160
10 10 12 16 22 28 34 40 46 52 60 66 72 78 84 90 98 104 106
116 122 134 146 158 160
16 18 20 34 28 34 40 46 52 58 64 72 78 84 90 94 102 106 114
120 136 138 150 160 160

```

```

34 24 28 32 36 42 46 52 58 64 70 76 82 88 94 100 108 112 118
126 132 144 154 160 160
30 32 34 38 42 48 52 58 64 70 76 82 88 94 100 106 112 118 124
130 136 148 160 160 160
38 38 40 46 50 54 60 64 70 76 82 88 94 100 106 110 118 124 130
136 140 154 160 160 160
44 46 48 52 56 60 66 72 76 82 88 94 100 106 110 116 124 128 134
142 146 158 160 160 160
50 52 54 58 62 66 72 78 82 88 94 100 106 112 116 122 128 134 140
146 152 160 160 160 160
56 58 60 64 70 74 78 84 88 94 100 106 112 118 122 128 134 140 146
152 158 160 160 160 160
64 64 68 70 74 80 84 90 94 100 106 110 116 122 130 134 140 146 152
156 160 160 160 160 160
70 72 74 78 82 86 90 94 100 106 110 116 122 128 134 140 146 152 156
160 160 160 160 160 160
76 78 80 82 88 92 96 102 106 112 118 124 128 134 140 146 152 156 160
160 160 160 160 160 160
82 84 86 90 94 98 104 108 112 118 124 128 134 140 146 152 156 160 160
160 160 160 160 160 160
88 90 92 96 100 104 106 114 118 124 130 134 140 146 152 156 160 160 160
160 160 160 160 160 160
94 96 100 102 106 110 116 120 126 130 136 142 146 152 156 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
100 102 104 108 112 118 122 136 132 136 140 146 152 158 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
114 114 118 120 124 130 134 138 144 148 154 158 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
126 128 130 132 138 142 146 150 154 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
138 140 142 146 148 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
150 152 156 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160];

```

%n=0.7 için w tablosu

```

w07=[6 6 6 6 6 10 16 22 30 36 42 50 56 62 70 76 82
83 54 100 108 120 132 144 156
6 6 6 6 6 10 16 24 30 38 44 50 53 64 70 73 84 50 56
102 108 122 134 146 158
6 6 6 6 6 12 18 26 32 40 46 52 60 66 72 80 86 92 98
106 110 124 136 150 160
6 6 6 6 10 16 22 30 36 44 50 56 64 70 76 82 50 94 102
108 114 126 138 152 160
6 6 6 10 16 20 28 34 40 46 54 60 66 74 80 86 92 96 106
112 118 130 142 154 160
10 10 12 16 20 26 32 38 46 52 58 66 72 78 84 90 58 104 110
116 122 134 146 158 160
16 16 18 22 28 32 38 44 52 56 64 70 76 84 88 96 102 103 114
120 126 138 150 160 160
22 24 26 30 34 38 44 50 56 62 68 76 82 88 94 100 106 112 118
124 130 144 154 160 160
30 30 32 36 40 46 52 56 62 68 74 80 88 94 98 104 112 118 124
130 136 148 160 160 160
36 38 40 44 46 52 56 62 68 74 80 86 92 98 104 110 116 122 130
134 140 152 160 160 160
42 44 46 50 54 58 64 68 74 80 36 92 98 104 110 116 122 128 134
140 146 156 160 160 160

```



```

50 50 52 56 60 66 70 76 80 86 92 98 104 110 116 122 128 134 138
146 152 160 160 160 160
56 58 60 64 66 72 76 82 83 92 98 104 110 116 120 123 132 140 144
150 156 160 160 160 160
62 64 66 70 74 78 84 88 54 98 104 110 116 122 126 132 138 144 150
156 160 160 160 160 160
70 70 72 76 80 84 88 94 98 104 110 116 120 126 134 138 144 150 156
160 160 160 160 160 160
76 78 80 82 85 90 96 100 104 110 116 122 128 132 138 146 150 156 160
160 160 160 160 160 160
82 84 86 90 92 98 102 106 112 116 122 128 132 138 144 150 156 160 160
160 160 160 160 160 160
88 90 92 54 56 104 106 112 118 122 128 134 140 144 150 156 160 160 160
160 160 160 160 160 160
94 56 98 102 106 110 114 118 124 130 134 133 144 150 156 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
100 102 106 108 112 116 120 124 130 134 140 146 150 156 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
108 108 110 114 118 122 126 130 136 140 146 152 156 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
120 122 124 126 130 134 138 144 148 152 156 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
132 134 136 138 142 146 150 154 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
144 146 150 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
156 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160];

```

```
%n=0.8 için w tablosu
```

```

w08=[6 6 6 6 12 18 24 30 36 42 50 56 62 66 76 82 39
94 100 106 114 126 138 150 160
6 6 6 8 12 18 24 30 36 44 50 56 64 70 76 84 90 95 102
106 116 128 140 152 160
6 6 6 10 14 20 26 32 38 46 52 58 66 72 78 86 92 96 104
110 116 130 142 154 160
6 8 10 14 18 24 30 36 42 48 56 62 68 74 80 88 94 100 106
114 120 132 144 158 160
12 12 14 18 22 28 34 40 46 52 60 66 72 78 86 92 96 104 110
118 122 136 148 160 160
18 18 20 24 28 32 38 44 50 58 64 70 78 84 90 96 102 106 114
120 128 140 152 160 160
24 24 26 30 34 38 44 50 56 62 70 76 82 88 94 100 106 114 120
126 132 144 156 160 160
30 30 32 36 40 44 50 56 62 68 74 80 86 92 98 106 112 118 124
130 136 148 160 160 160
36 36 38 42 46 50 56 62 68 74 80 86 92 96 104 112 116 124 128
134 140 152 160 160 160
42 44 46 48 52 58 62 68 74 78 86 92 96 104 110 116 122 128 134
140 146 158 160 160 160
50 50 52 56 60 64 70 74 80 86 90 96 102 106 114 122 128 134 138
146 152 160 160 160 160
56 56 58 62 66 70 75 80 86 92 96 102 106 114 120 126 132 138 144
150 156 160 160 160 160
62 64 66 68 72 78 82 86 92 96 102 108 114 120 126 132 130 144 150
156 160 160 160 160 160
68 70 72 74 78 84 88 92 96 104 106 114 120 126 132 138 144 150 154
160 160 160 160 160 160

```

```

76 76 78 30 86 90 94 96 104 110 114 120 126 132 138 144 150 154 160
160 160 160 160 160 160
82 84 86 88 92 95 100 106 112 116 122 126 132 138 144 150 154 160 160
160 160 160 160 160 160
88 90 92 94 96 102 106 112 116 122 128 132 138 144 150 154 160 160 160
160 160 160 160 160 160
94 95 98 100 104 106 114 118 124 128 134 138 144 150 154 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
100 102 104 106 110 114 120 124 128 134 138 144 150 154 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
106 106 110 114 118 120 126 130 134 140 146 150 156 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
114 116 116 120 122 128 132 136 140 146 152 156 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
126 128 130 132 136 140 144 148 152 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
138 140 142 144 148 152 156 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
150 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160];

```

`%n=0.9 için w tablosu`

```

w09=[6 8 12 16 20 26 32 38 44 50 56 62 68 76 82 88 94
102 108 114 120 132 144 158 160
8 8 12 16 22 26 32 38 44 50 58 64 70 76 82 90 96 102 108
116 122 134 146 160 160
12 12 14 18 22 28 34 40 46 52 58 66 72 78 84 92 90 104 110
118 124 136 148 160 160
16 16 18 22 26 32 36 42 48 56 62 68 74 82 88 94 100 106 112
120 126 138 152 160 160
20 22 22 26 30 36 42 48 52 60 66 72 78 84 92 98 104 110 116
122 130 140 154 160 160
26 26 28 32 36 40 46 52 58 62 70 76 82 88 96 102 106 114 120
126 132 146 158 160 160
32 32 34 36 42 46 52 56 62 68 74 80 88 94 100 106 112 118 124
130 138 150 160 160 160
38 38 40 42 48 52 56 62 68 74 80 86 92 96 104 110 118 122 130
136 142 154 160 160 160
44 44 46 48 52 58 62 68 74 80 86 92 98 104 110 116 122 128 134
140 146 158 160 160 160
50 50 52 56 60 62 68 74 80 84 92 96 104 110 116 120 128 134 140
146 152 160 160 160 160
56 58 58 62 66 70 74 80 86 92 96 102 106 114 120 126 132 140 144
150 156 160 160 160 160
62 64 66 68 72 76 80 86 92 96 102 108 114 120 126 132 138 144 150
156 160 160 160 160 160
68 70 72 74 78 82 88 92 96 104 106 114 120 126 132 138 144 150 156
160 160 160 160 160 160
76 76 78 82 84 88 94 98 104 110 114 120 126 132 136 144 148 156 160
160 160 160 160 160 160
82 82 84 88 92 96 100 104 110 116 120 126 132 136 142 148 154 160 160
160 160 160 160 160 160
88 90 92 94 98 102 106 110 116 120 126 132 138 144 148 154 160 160 160
160 160 160 160 160 160
94 96 98 100 104 108 112 118 122 128 132 130 144 148 154 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160

```

```

102 102 104 106 110 114 118 122 128 134 140 144 150 156 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
108 106 110 112 116 120 124 130 134 140 144 150 156 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
114 116 118 120 122 126 130 136 140 146 150 156 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
120 122 124 126 130 132 138 142 146 152 156 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
132 134 136 138 140 146 150 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
144 146 148 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160];

```

```

n1=ceil(10*n);
n2=floor(10*n);
n1=n1/10;
n2=n2/10;

```

```

if n1==0.0
    wtablo=w00;
elseif n1==0.1
    wtablo=w01;
elseif n1==0.2
    wtablo=w02;
elseif n1==0.3
    wtablo=w03;
elseif n1==0.4
    wtablo=w04;
elseif n1==0.5
    wtablo=w05;
elseif n1==0.6
    wtablo=w06;
elseif n1==0.7
    wtablo=w07;
elseif n1==0.8
    wtablo=w08;
elseif n1==0.9
    wtablo=w09;
end

```

```

w1=interp2(mxekseni,myekseni,wtablo,mx,my);

```

```

if n2==0.0
    wtablo=w00;
elseif n2==0.1
    wtablo=w01;
elseif n2==0.2
    wtablo=w02;
elseif n2==0.3
    wtablo=w03;
elseif n2==0.4
    wtablo=w04;
elseif n2==0.5

```

```

        wtablo=w05;
elseif n2==0.6
        wtablo=w06;
elseif n2==0.7
        wtablo=w07;
elseif n2==0.8
        wtablo=w08;
elseif n2==0.9
        wtablo=w09;
end

w2=interp2 (mxekseni,myekseni,wtablo,mx,my) ;

w=0;
if w2>w1
        w=w2;
else
        w=w1;
end

%Donatı alanının bulunması (mm2)
Ast=(w/100) * (fcd/fyd) *b*h;

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ

%Geleneksel betonun üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%GBE=316 kg/m3
GBE=316;

%Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%DE=0.76 kg/kg
DE=0.76;

%Betonarme donatısı özgül ağırlığı 7850 kg/m3
doa=7850;

%h=3000 mm uzunluğunda bir kolon imalatı sonucunda ortaya çıkacak CO2
emisyona miktarını bulalım (kg)
hk=3000;

%Beton kaynaklı (kg):
BK= ((b*h-Ast)/10^6) * (hk/1000) *GBE;

%Donatı kaynaklı (kg):
DK= (Ast/(10^6)) * (hk/1000) *doa*DE;

%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM(1,i)=b;
CM(2,i)=h;
CM(3,i)=Ast;
CM(4,i)=BK;

```

```

CM(5,i)=DK;
CM(6,i)=TE;

%YÖNETMELİK ŞARTLARININ KONTROLU
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

%1 - Nd<=0.9*fcd*Ac (TS500:2000)
if Nd*1000>0.9*fcd*b*h
    CM(6,i)=10^9;
end
%2 - Nd<=0.4*fck*Ac (TBDY-2018)
if Nd*1000>0.4*fck*b*h
    CM(6,i)=10^9;
end
%3 - Mxd>=(15+0.03*h)*Nd (TS500:2000)
if Mxd*1000<(15+0.03*h)*Nd
    CM(6,i)=10^9;
end
%4 - Myd>=(15+0.03*b)*Nd (TS500:2000)
if Myd*1000<(15+0.03*b)*Nd
    CM(6,i)=10^9;
end
%5 - b>=250 mm,
%6 - h>=250 mm,
%5 ve 6 numaralı şartlara uyulması for döngüsünün başındaki formüllerle
sağlandı

%7 - b*h>=75000 mm2
if b*h<75000
    CM(6,i)=10^9;
end
%8 - ro=(seçilen toplam donatı alanı)/(b*h); 0.01<ro<0.04
if Ast/(b*h)<0.01 || Ast/(b*h)>0.04
    CM(6,i)=10^9;
end

end

%TLBO ALGORİTMASININ OLUŞTURULMASI
%İterasyon Süreci
for tekrar=1:itersay

    %Öğretmen Fazı
    for i=1:ps
        %En düşük CO2 emisyonunu veren değişkenler sütununun seçilmesi
        [deger,sut]=min(CM(6,:));
        eniyib=CM(1,sut);
        eniyih=CM(2,sut);
        eniyiAst=CM(3,sut);
        eniyiBK=((eniyib*eniyih-eniyiAst)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
        eniyiDK=(eniyiAst/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;

        %Öğretmen fazı kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
        %ORTF: Öğretme faktörü
        %mean: MATLAB programında aritmetik ortalama hesaplayan komut
        ORTF=(round(1+rand));
    end
end

```

```

b=CM(1,i)+rand*(eniyib-ORTF*mean(CM(1,:)));
h=CM(2,i)+rand*(eniyih-ORTF*mean(CM(2,:)));
Ast=CM(3,i)+rand*(eniyiAst-ORTF*mean(CM(3,:)));
BK=((b*h-Ast)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ

%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM1(1,i)=b;
CM1(2,i)=h;
CM1(3,i)=Ast;
CM1(4,i)=BK;
CM1(5,i)=DK;
CM1(6,i)=TE;

%YÖNETMELİK ŞARTLARININ KONTROLU
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

%1 - Nd<=0.9*fcd*Ac (TS500:2000)
if Nd*1000>0.9*fcd*b*h
    CM1(6,i)=10^9;
end
%2 - Nd<=0.4*fck*Ac (TBDY-2018)
if Nd*1000>0.4*fck*b*h
    CM1(6,i)=10^9;
end
%3 - Mxd>=(15+0.03*h)*Nd (TS500:2000)
if Mxd*1000<(15+0.03*h)*Nd
    CM1(6,i)=10^9;
end
%4 - Myd>=(15+0.03*b)*Nd (TS500:2000)
if Myd*1000<(15+0.03*b)*Nd
    CM1(6,i)=10^9;
end
%5 - b>=250 mm(yönetmelik şartı) ve bizim oluşturduğumuz bmaks=700
mm şartı
if b<250 || b>700
    CM1(6,i)=10^9;
end
%6 - h>=250 mm(yönetmelik şartı) ve bizim oluşturduğumuz hmaks=700
mm şartı
if h<250 || h>700
    CM1(6,i)=10^9;
end
%7 - b*h>=75000 mm2
if b*h<75000
    CM1(6,i)=10^9;
end
%8 - ro=(seçilen toplam donatı alanı)/(b*h); 0.01<ro<0.04
if Ast/(b*h)<0.01 || Ast/(b*h)>0.04
    CM1(6,i)=10^9;
end

```

```

%9 - Abak şartı - atanacak donatı alanının abaklı çözüm değerinden
küçük olmayacak şekilde sınırlandırma getirilmiştir
n=(Nd*10^3)/(b*h*fcd); %Nd geğeri 10^3 ile çarpılarak N birimine
dönüştürülmüştür
mx=(100*Mxd*(10^6))/(b*(h^2)*fcd); %Mxd değeri 10^6 ile çarpılarak
Nmm birimine dönüştürülmüştür
my=(100*Myd*(10^6))/((b^2)*h*fcd); %Myd değeri 10^6 ile çarpılarak
Nmm birimine dönüştürülmüştür

if mx>56
    mx=56;
end
if my>56
    my=56;
end

mxeaksi=[0:2:40 44 48 52 56];
myeksi=[0:2:40 44 48 52 56];

%Toplam donatının dört kenara eşit yerleştirildiği donatı planına
göre çözüm yapılacaktır.
%n=0.0 için w tablosu
w00=[6 6 8 12 18 22 28 34 38 44 50 56 60 66 72 78
84 90 96 102 108 120 132 146 158
6 6 8 12 18 22 28 34 40 46 50 56 62 68 74 80 86 92
56 104 110 122 134 146 158
8 8 10 14 18 24 30 36 40 46 52 58 64 70 76 82 88 94
100 106 112 124 136 148 160
12 12 14 16 22 26 32 38 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96
102 108 114 126 138 152 160
18 18 18 22 24 28 34 40 46 52 56 62 70 74 80 86 92 56
104 110 116 130 142 154 160
22 22 24 26 28 32 38 44 48 54 60 66 72 78 84 90 96 102
106 114 120 132 144 158 160
28 28 30 32 34 38 42 46 52 58 64 70 76 80 86 92 96 104
110 116 122 136 148 160 160
34 34 36 38 40 44 46 52 56 62 68 74 80 86 50 96 102 106
114 120 126 140 150 160 160
38 40 40 42 46 48 52 56 62 66 72 78 84 90 94 100 106 112
118 124 130 142 156 160 160
44 46 46 48 52 54 58 62 66 72 76 82 88 94 96 106 110 116
122 128 134 146 158 160 160
50 50 52 54 56 60 64 68 72 76 32 88 92 56 104 110 116 122
126 132 138 150 160 160 160
56 56 58 60 62 66 70 74 78 82 68 92 96 104 108 114 120 126
132 136 142 154 160 160 160
60 62 64 66 70 72 76 80 84 88 92 96 102 106 114 118 124 132
136 142 148 160 160 160 160
66 68 70 72 74 78 80 86 90 94 96 104 108 114 118 124 130 134
142 148 154 160 160 160 160
72 74 76 78 80 84 86 50 54 58 104 108 114 118 124 130 136 140
146 152 160 160 160 160 160
78 80 82 84 86 90 92 56 100 106 110 114 118 124 130 136 140 146
152 158 160 160 160 160 160
84 66 88 90 92 96 96 102 106 110 116 120 124 130 136 140 146 152
158 160 160 160 160 160 160
90 92 94 56 96 102 104 108 112 116 122 126 132 134 140 146 152 158
160 160 160 160 160 160 160

```

```

96 98 100 102 104 108 110 114 118 122 126 132 136 142 146 152 158 160
160 160 160 160 160 160 160
102 104 106 108 110 114 116 120 124 128 132 136 142 148 152 158 160 160
160 160 160 160 160 160 160
108 110 112 114 116 120 122 126 130 134 138 142 148 154 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
120 122 124 126 130 132 136 140 142 146 150 154 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
132 134 136 138 142 144 148 150 156 158 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
146 146 148 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
158 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160];

```

%n=0.1 için w tablosu

```

w01=[6 6 6 6 8 14 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72
78 84 90 96 104 116 128 140 154
6 6 6 6 8 14 20 26 32 38 44 50 56 62 68 74 80 86
92 98 104 116 130 142 154
6 6 6 6 10 16 22 28 34 40 46 50 58 62 70 76 82 88
94 100 106 120 132 144 156
6 6 6 8 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90
96 102 108 122 134 146 158
8 8 10 12 18 22 28 32 40 44 50 56 62 68 76 82 88 94
100 106 112 124 136 150 160
14 14 16 18 22 26 32 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96
104 108 116 128 140 152 160
18 20 22 24 28 32 36 42 43 54 56 64 70 76 82 88 94 100
106 112 118 132 144 156 160
24 26 28 30 32 36 42 46 52 56 62 68 74 82 86 92 96 104
110 116 122 134 148 160 160
30 32 34 36 40 42 48 52 58 62 68 74 80 86 90 96 102 108
114 120 126 140 152 160 160
36 38 40 42 44 48 54 56 62 68 72 78 84 90 96 102 106 114
120 126 132 144 154 160 160
42 44 46 48 50 54 58 62 68 72 78 84 90 94 100 108 112 118
124 130 136 148 160 160 160
43 50 50 54 56 60 64 68 74 78 84 90 94 100 106 112 118 124
130 136 142 152 160 160 160
54 56 58 60 62 66 70 74 80 84 90 94 100 106 112 116 122 128
134 140 146 156 160 160 160
60 62 62 66 68 72 76 82 86 90 94 100 106 112 118 122 128 134
140 144 150 160 160 160 160
66 68 70 72 76 78 82 86 90 96 100 106 112 118 124 128 134 140
144 150 156 160 160 160 160
72 74 76 78 82 84 88 92 98 102 108 112 116 122 128 134 138 144
150 156 160 160 160 160 160
78 80 82 84 88 90 94 98 102 106 112 118 122 128 134 138 146 150
156 160 160 160 160 160 160
84 86 88 90 94 96 100 104 106 114 118 124 128 134 140 144 150 156
160 160 160 160 160 160 160
90 92 94 96 100 104 106 110 114 120 124 130 134 140 144 150 156 160
160 160 160 160 160 160 160
96 46 100 102 106 106 112 116 120 126 130 136 140 144 150 156 160 160
160 160 160 160 160 160 160
104 104 106 106 112 116 118 122 126 132 136 142 146 150 156 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160

```



```

102 102 104 106 110 114 118 122 128 134 140 144 150 156 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
108 106 110 112 116 120 124 130 134 140 144 150 156 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
114 116 118 120 122 126 130 136 140 146 150 156 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
120 122 124 126 130 132 138 142 146 152 156 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
132 134 136 138 140 146 150 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
144 146 148 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160];

```

```

n1=ceil(10*n);
n2=floor(10*n);
n1=n1/10;
n2=n2/10;

```

```

if n1==0.0
    wtablo=w00;
elseif n1==0.1
    wtablo=w01;
elseif n1==0.2
    wtablo=w02;
elseif n1==0.3
    wtablo=w03;
elseif n1==0.4
    wtablo=w04;
elseif n1==0.5
    wtablo=w05;
elseif n1==0.6
    wtablo=w06;
elseif n1==0.7
    wtablo=w07;
elseif n1==0.8
    wtablo=w08;
elseif n1==0.9
    wtablo=w09;
end

```

```

w1=interp2(mxekseni,myekseni,wtablo,mx,my);

```

```

if n2==0.0
    wtablo=w00;
elseif n2==0.1
    wtablo=w01;
elseif n2==0.2
    wtablo=w02;
elseif n2==0.3
    wtablo=w03;
elseif n2==0.4
    wtablo=w04;
elseif n2==0.5

```



```

        wtablo=w05;
elseif n2==0.6
        wtablo=w06;
elseif n2==0.7
        wtablo=w07;
elseif n2==0.8
        wtablo=w08;
elseif n2==0.9
        wtablo=w09;
end

w2=interp2 (mxekseni,myekseni,wtablo,mx,my);

w=0;
if w2>w1
        w=w2;
else
        w=w1;
end
if Ast<(w/100)*(fcd/fyd)*b*h;
        CM1(6,i)=10^9;
end

end

%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
        if CM(6,i)>CM1(6,i)
                CM(:,i)=CM1(:,i);
        end
end

%Öğrenci Fazı
for i=1:ps
        %Rastgele iki farklı öğrencinin (ogrenci a ve ogrenci b) seçilmesi
        orna=(ceil(rand*ps));
        ornb=(ceil(rand*ps));
        while orna==ornb %Aynı öğrenci denk gelirse, tekrar rastgele seçim
yapılır
                orna=(ceil(rand*ps));
                ornb=(ceil(rand*ps));
        end

        %Öğrenci fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
        if CM(6,orna)<CM(6,ornb)
                b=CM(1,i)+rand*(CM(1,orna)-CM(1,ornb));
                h=CM(2,i)+rand*(CM(2,orna)-CM(2,ornb));
                Ast=CM(3,i)+rand*(CM(3,orna)-CM(3,ornb));
                BK=((b*h-Ast)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
                DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;
        else
                b=CM(1,i)+rand()* (CM(1,ornb)-CM(1,orna));
                h=CM(2,i)+rand()* (CM(2,ornb)-CM(2,orna));
                Ast=CM(3,i)+rand()* (CM(3,ornb)-CM(3,orna));
                BK=((b*h-Ast)/10^6)*(hk/1000)*GBE;
                DK=(Ast/(10^6))*(hk/1000)*doa*DE;
        end
end

```

```

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ
%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM1(1,i)=b;
CM1(2,i)=h;
CM1(3,i)=Ast;
CM1(4,i)=BK;
CM1(5,i)=DK;
CM1(6,i)=TE;

%YÖNETMELİK ŞARTLARININ KONTROLU
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

%1 - Nd<=0.9*fcd*Ac (TS500:2000)
if Nd*1000>0.9*fcd*b*h
    CM1(6,i)=10^9;
end
%2 - Nd<=0.4*fck*Ac (TBDY-2018)
if Nd*1000>0.4*fck*b*h
    CM1(6,i)=10^9;
end
%3 - Mxd>=(15+0.03*h)*Nd (TS500:2000)
if Mxd*1000<(15+0.03*h)*Nd
    CM1(6,i)=10^9;
end
%4 - Myd>=(15+0.03*b)*Nd (TS500:2000)
if Myd*1000<(15+0.03*b)*Nd
    CM1(6,i)=10^9;
end
%5 - b>=250 mm(yönetmelik şartı) ve bizim oluşturduğumuz bmaks=700
mm şartı
if b<250 || b>700
    CM1(6,i)=10^9;
end
%6 - h>=250 mm(yönetmelik şartı) ve bizim oluşturduğumuz hmaks=700
mm şartı
if h<250 || h>700
    CM1(6,i)=10^9;
end
%7 - b*h>=75000 mm2
if b*h<75000
    CM1(6,i)=10^9;
end
%8 - ro=(seçilen toplam donatı alanı)/(b*h); 0.01<ro<0.04
if Ast/(b*h)<0.01 || Ast/(b*h)>0.04
    CM1(6,i)=10^9;
end
%9 - Abak şartı - atanacak donatı alanının abaklı çözüm değerinden
küçük olmayacak şekilde sınırlandırma getirilmiştir
n=(Nd*10^3)/(b*h*fcd); %Nd geçeri 10^3 ile çarpılarak N birimine
dönüştürülmüştür
mx=(100*Mxd*(10^6))/(b*(h^2)*fcd); %Mxd değeri 10^6 ile çarpılarak
Nmm birimine dönüştürülmüştür
my=(100*Myd*(10^6))/((b^2)*h*fcd); %Myd değeri 10^6 ile çarpılarak
Nmm birimine dönüştürülmüştür

```

```

if mx>56
    mx=56;
end
if my>56
    my=56;
end

mxekseni=[0:2:40 44 48 52 56];
myekseni=[0:2:40 44 48 52 56];

%Toplam donatının dört kenara eşit yerleştirildiği donatı planına
göre çözüm yapılacaktır.
%n=0.0 için w tablosu
w00=[6 6 8 12 18 22 28 34 38 44 50 56 60 66 72 78
84 90 96 102 108 120 132 146 158
6 6 8 12 18 22 28 34 40 46 50 56 62 68 74 80 86 92
56 104 110 122 134 146 158
8 8 10 14 18 24 30 36 40 46 52 58 64 70 76 82 88 94
100 106 112 124 136 148 160
12 12 14 16 22 26 32 38 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96
102 108 114 126 138 152 160
18 18 18 22 24 28 34 40 46 52 56 62 70 74 80 86 92 56
104 110 116 130 142 154 160
22 22 24 26 28 32 38 44 48 54 60 66 72 78 84 90 96 102
106 114 120 132 144 158 160
28 28 30 32 34 38 42 46 52 58 64 70 76 80 86 92 96 104
110 116 122 136 148 160 160
34 34 36 38 40 44 46 52 56 62 68 74 80 86 50 96 102 106
114 120 126 140 150 160 160
38 40 40 42 46 48 52 56 62 66 72 78 84 90 94 100 106 112
118 124 130 142 156 160 160
44 46 46 48 52 54 58 62 66 72 76 82 88 94 96 106 110 116
122 128 134 146 158 160 160
50 50 52 54 56 60 64 68 72 76 32 88 92 56 104 110 116 122
126 132 138 150 160 160 160
56 56 58 60 62 66 70 74 78 82 68 92 96 104 108 114 120 126
132 136 142 154 160 160 160
60 62 64 66 70 72 76 80 84 88 92 96 102 106 114 118 124 132
136 142 148 160 160 160 160
66 68 70 72 74 78 80 86 90 94 96 104 108 114 118 124 130 134
142 148 154 160 160 160 160
72 74 76 78 80 84 86 50 54 58 104 108 114 118 124 130 136 140
146 152 160 160 160 160 160
78 80 82 84 86 90 92 56 100 106 110 114 118 124 130 136 140 146
152 158 160 160 160 160 160
84 66 88 90 92 96 96 102 106 110 116 120 124 130 136 140 146 152
158 160 160 160 160 160 160
90 92 94 56 96 102 104 108 112 116 122 126 132 134 140 146 152 158
160 160 160 160 160 160 160
96 98 100 102 104 108 110 114 118 122 126 132 136 142 146 152 158 160
160 160 160 160 160 160 160
102 104 106 108 110 114 116 120 124 128 132 136 142 148 152 158 160 160
160 160 160 160 160 160 160
108 110 112 114 116 120 122 126 130 134 138 142 148 154 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
120 122 124 126 130 132 136 140 142 146 150 154 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160

```

```

132 134 136 138 142 144 148 150 156 158 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
146 146 148 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
158 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160];

%n=0.1 için w tablosu
w01=[6 6 6 6 8 14 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72
78 84 90 96 104 116 128 140 154
6 6 6 6 8 14 20 26 32 38 44 50 56 62 68 74 80 86
92 98 104 116 130 142 154
6 6 6 6 10 16 22 28 34 40 46 50 58 62 70 76 82 88
94 100 106 120 132 144 156
6 6 6 8 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90
96 102 108 122 134 146 158
8 8 10 12 18 22 28 32 40 44 50 56 62 68 76 82 88 94
100 106 112 124 136 150 160
14 14 16 18 22 26 32 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96
104 108 116 128 140 152 160
18 20 22 24 28 32 36 42 43 54 56 64 70 76 82 88 94 100
106 112 118 132 144 156 160
24 26 28 30 32 36 42 46 52 56 62 68 74 82 86 92 96 104
110 116 122 134 148 160 160
30 32 34 36 40 42 48 52 58 62 68 74 80 86 90 96 102 108
114 120 126 140 152 160 160
36 38 40 42 44 48 54 56 62 68 72 78 84 90 96 102 106 114
120 126 132 144 154 160 160
42 44 46 48 50 54 58 62 68 72 78 84 90 94 100 108 112 118
124 130 136 148 160 160 160
43 50 50 54 56 60 64 68 74 78 84 90 94 100 106 112 118 124
130 136 142 152 160 160 160
54 56 58 60 62 66 70 74 80 84 90 94 100 106 112 116 122 128
134 140 146 156 160 160 160
60 62 62 66 68 72 76 82 86 90 94 100 106 112 118 122 128 134
140 144 150 160 160 160 160
66 68 70 72 76 78 82 86 90 96 100 106 112 118 124 128 134 140
144 150 156 160 160 160 160
72 74 76 78 82 84 88 92 98 102 108 112 116 122 128 134 138 144
150 156 160 160 160 160 160
78 80 82 84 88 90 94 98 102 106 112 118 122 128 134 138 146 150
156 160 160 160 160 160 160
84 86 88 90 94 96 100 104 106 114 118 124 128 134 140 144 150 156
160 160 160 160 160 160 160
90 92 94 96 100 104 106 110 114 120 124 130 134 140 144 150 156 160
160 160 160 160 160 160 160
96 46 100 102 106 106 112 116 120 126 130 136 140 144 150 156 160 160
160 160 160 160 160 160 160
104 104 106 106 112 116 118 122 126 132 136 142 146 150 156 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
116 116 120 122 124 128 132 134 140 144 148 152 156 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
128 130 132 134 136 140 144 148 152 154 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
140 142 144 146 150 152 156 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
154 154 156 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160];

%n=0.2 için w tablosu

```



```

6 6 8 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96
102 110 116 128 140 152 160
10 12 16 20 24 30 36 40 46 52 58 66 72 78 82 90 96 102
106 114 120 132 144 156 160
18 18 22 26 30 36 42 46 52 58 64 72 78 82 88 96 100 108
114 120 126 138 148 160 160
24 26 28 32 38 42 48 52 58 64 70 76 82 88 94 100 106 112
118 124 130 142 154 160 160
30 32 36 40 44 48 54 58 64 70 76 82 88 94 100 106 112 118
124 130 136 148 160 160 160
36 38 42 46 50 56 60 66 72 76 82 88 94 98 104 112 116 124
126 134 140 152 160 160 160
44 46 48 52 56 62 66 72 78 82 88 94 98 114 110 118 122 130
134 140 146 158 160 160 160
50 52 54 58 62 68 72 78 82 88 94 98 104 110 116 122 128 134
140 146 152 160 160 160 160
56 58 60 64 68 74 78 82 88 94 100 104 110 116 122 128 134 140
146 152 158 160 160 160 160
64 64 66 70 76 80 84 90 96 100 106 112 118 122 128 134 140 144
152 156 160 160 160 160 160
70 72 74 78 82 86 90 96 100 106 112 116 122 128 134 140 144 152
156 160 160 160 160 160 160
76 78 80 84 88 92 96 102 108 112 118 124 130 134 140 144 152 156
160 160 160 160 160 160 160
82 84 66 90 94 96 102 106 114 118 124 128 134 140 146 152 156 160
160 160 160 160 160 160 160
90 90 92 96 100 104 110 114 120 124 130 134 140 146 152 156 160 160
160 160 160 160 160 160 160
96 98 96 102 106 110 116 120 126 130 136 140 146 152 158 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
108 110 112 116 118 124 128 132 138 142 148 152 158 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
122 124 126 128 132 136 140 144 148 154 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
136 136 138 140 144 148 152 156 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
148 150 152 154 156 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160];

```

```

%n=0.5 için w tablosu

```

```

w05=[6 6 6 6 6 6 6 6 12 20 26 32 38 46 52 58 64
70 78 84 90 96 110 122 136 148
6 6 6 6 6 6 6 14 20 28 34 40 48 54 60 66 72 78
86 92 98 112 124 138 150
6 6 6 6 6 6 10 16 24 30 38 44 50 56 62 70 76 82
88 94 100 114 126 138 152
6 6 6 6 6 6 14 20 26 34 40 48 54 60 66 72 78 86
92 96 104 116 130 142 154
6 6 6 6 6 12 20 26 32 38 46 52 58 64 72 78 84 90
96 102 108 120 132 146 158
6 6 6 6 12 18 24 32 38 44 50 56 64 68 76 82 88 94
100 108 114 126 138 150 160
6 6 10 14 20 24 30 38 44 50 56 62 68 74 80 86 94 96
104 110 118 130 142 154 160
12 14 16 20 26 32 38 42 48 54 62 68 74 78 86 92 96 104
110 116 122 134 146 158 160
20 20 24 28 32 38 44 48 56 60 66 72 78 84 90 96 102 110
116 122 128 140 152 160 160

```



```

76 78 80 82 85 90 96 100 104 110 116 122 128 132 138 146 150 156
160 160 160 160 160 160 160
82 84 86 90 92 98 102 106 112 116 122 128 132 138 144 150 156 160
160 160 160 160 160 160 160
88 90 92 54 56 104 106 112 118 122 128 134 140 144 150 156 160 160
160 160 160 160 160 160 160
94 56 98 102 106 110 114 118 124 130 134 133 144 150 156 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
100 102 106 108 112 116 120 124 130 134 140 146 150 156 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
108 108 110 114 118 122 126 130 136 140 146 152 156 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
120 122 124 126 130 134 138 144 148 152 156 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
132 134 136 138 142 146 150 154 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
144 146 150 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160
156 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160];

%n=0.8 için w tablosu
w08=[6 6 6 6 12 18 24 30 36 42 50 56 62 66 76 82
39 94 100 106 114 126 138 150 160
6 6 6 8 12 18 24 30 36 44 50 56 64 70 76 84 90 95
102 106 116 128 140 152 160
6 6 6 10 14 20 26 32 38 46 52 58 66 72 78 86 92 96
104 110 116 130 142 154 160
6 8 10 14 18 24 30 36 42 48 56 62 68 74 80 88 94 100
106 114 120 132 144 158 160
12 12 14 18 22 28 34 40 46 52 60 66 72 78 86 92 96 104
110 118 122 136 148 160 160
18 18 20 24 28 32 38 44 50 58 64 70 78 84 90 96 102 106
114 120 128 140 152 160 160
24 24 26 30 34 38 44 50 56 62 70 76 82 88 94 100 106 114
120 126 132 144 156 160 160
30 30 32 36 40 44 50 56 62 68 74 80 86 92 98 106 112 118
124 130 136 148 160 160 160
36 36 38 42 46 50 56 62 68 74 80 86 92 96 104 112 116 124
128 134 140 152 160 160 160
42 44 46 48 52 58 62 68 74 78 86 92 96 104 110 116 122 128
134 140 146 158 160 160 160
50 50 52 56 60 64 70 74 60 86 90 96 102 106 114 122 128 134
138 146 152 160 160 160 160
56 56 58 62 66 70 75 80 86 92 96 102 106 114 120 126 132 138
144 150 156 160 160 160 160
62 64 66 68 72 78 82 86 92 96 102 108 114 120 126 132 130 144
150 156 160 160 160 160 160
68 70 72 74 78 84 88 92 96 104 106 114 120 126 132 138 144 150
154 160 160 160 160 160 160
76 76 78 30 86 90 94 96 104 110 114 120 126 132 138 144 150 154
160 160 160 160 160 160 160
82 84 86 88 92 95 100 106 112 116 122 126 132 138 144 150 154 160
160 160 160 160 160 160
88 90 92 94 96 102 106 112 116 122 128 132 138 144 150 154 160 160
160 160 160 160 160 160
94 95 98 100 104 106 114 118 124 128 134 138 144 150 154 160 160 160
160 160 160 160 160 160

```

```

100 102 104 106 110 114 120 124 128 134 138 144 150 154 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
106 106 110 114 118 120 126 130 134 140 146 150 156 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
114 116 116 120 122 128 132 136 140 146 152 156 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
126 128 130 132 136 140 144 148 152 158 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
138 140 142 144 148 152 156 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
150 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160];

```

%n=0.9 için w tablosu

```

w09=[6 8 12 16 20 26 32 38 44 50 56 62 68 76 82 88
94 102 108 114 120 132 144 158 160
8 8 12 16 22 26 32 38 44 50 58 64 70 76 82 90 96 102
108 116 122 134 146 160 160
12 12 14 18 22 28 34 40 46 52 58 66 72 78 84 92 90 104
110 118 124 136 148 160 160
16 16 18 22 26 32 36 42 48 56 62 68 74 82 88 94 100 106
112 120 126 138 152 160 160
20 22 22 26 30 36 42 48 52 60 66 72 78 84 92 98 104 110
116 122 130 140 154 160 160
26 26 28 32 36 40 46 52 58 62 70 76 82 88 96 102 106 114
120 126 132 146 158 160 160
32 32 34 36 42 46 52 56 62 68 74 80 88 94 100 106 112 118
124 130 138 150 160 160 160
38 38 40 42 48 52 56 62 68 74 80 86 92 96 104 110 118 122
130 136 142 154 160 160 160
44 44 46 48 52 58 62 68 74 80 86 92 98 104 110 116 122 128
134 140 146 158 160 160 160
50 50 52 56 60 62 68 74 80 84 92 96 104 110 116 120 128 134
140 146 152 160 160 160 160
56 58 58 62 66 70 74 80 86 92 96 102 106 114 120 126 132 140
144 150 156 160 160 160 160
62 64 66 68 72 76 80 86 92 96 102 108 114 120 126 132 138 144
150 156 160 160 160 160 160
68 70 72 74 78 82 88 92 96 104 106 114 120 126 132 138 144 150
156 160 160 160 160 160 160
76 76 78 82 84 88 94 98 104 110 114 120 126 132 136 144 148 156
160 160 160 160 160 160 160
82 82 84 88 92 96 100 104 110 116 120 126 132 136 142 148 154 160
160 160 160 160 160 160 160
88 90 92 94 98 102 106 110 116 120 126 132 138 144 148 154 160 160
160 160 160 160 160 160 160
94 96 98 100 104 108 112 118 122 128 132 130 144 148 154 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
102 102 104 106 110 114 118 122 128 134 140 144 150 156 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
108 106 110 112 116 120 124 130 134 140 144 150 156 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
114 116 118 120 122 126 130 136 140 146 150 156 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
120 122 124 126 130 132 138 142 146 152 156 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160

```

```

132 134 136 138 140 146 150 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
144 146 148 152 154 158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
158 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160 160
160 160 160 160 160 160] ;

```

```

n1=ceil(10*n);
n2=floor(10*n);
n1=n1/10;
n2=n2/10;

```

```

if n1==0.0
    wtablo=w00;
elseif n1==0.1
    wtablo=w01;
elseif n1==0.2
    wtablo=w02;
elseif n1==0.3
    wtablo=w03;
elseif n1==0.4
    wtablo=w04;
elseif n1==0.5
    wtablo=w05;
elseif n1==0.6
    wtablo=w06;
elseif n1==0.7
    wtablo=w07;
elseif n1==0.8
    wtablo=w08;
elseif n1==0.9
    wtablo=w09;
end

```

```

w1=interp2(mxekseni,myekseni,wtablo,mx,my);

```

```

if n2==0.0
    wtablo=w00;
elseif n2==0.1
    wtablo=w01;
elseif n2==0.2
    wtablo=w02;
elseif n2==0.3
    wtablo=w03;
elseif n2==0.4
    wtablo=w04;
elseif n2==0.5
    wtablo=w05;
elseif n2==0.6
    wtablo=w06;
elseif n2==0.7
    wtablo=w07;
elseif n2==0.8
    wtablo=w08;
elseif n2==0.9

```

```
        wtablo=w09;
    end

    w2=interp2(mxekseni,myekseni,wtablo,mx,my);

    w=0;
    if w2>w1
        w=w2;
    else
        w=w1;
    end
    if Ast<(w/100)*(fcd/fyd)*b*h;
        CM1(6,i)=10^9;
    end

end

%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
    if CM(6,i)>CM1(6,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end
end
```

EK 2. Kiriş için TLBO algoritması kodları

```

%MİN. CO2 EMİSYONU VERECEK ŞEKİLDE TLBO İLE DÖRTGEN KİRİŞ TASARIMI

%SABİT DEĞERLER
%Beton sınıfı: C30/37
%Donatı çeliği sınıfı: B420C
%pp=40 mm, paspayı
%L=3000 mm kiriş uzunluğu
%Tasarım moment değeri Md=500 kNm
%fck=30 N/mm2 beton karakteristik basınç dayanımı - silindirik
%fyk=420 N/mm2 çelik karakteristik akma dayanımı
%gmc=1.5 beton malzeme güvenlik katsayısı, gms=1,15 çelik güvenlik katsayısı
%fcd=30/1.5=20 N/mm2 beton tasarım basınç dayanımı
%fyd=420/1.15=365.22 N/mm2 çelik tasarım akma dayanımı
%fctk=1.9 N/mm2 beton karakteristik aksenal çekme dayanımı
%fctd=1.28 N/mm2 beton tasarım aksenal çekme dayanımı
%k1=0.82 ortalama basınç gerilmesi ve maksimum gerilme arasındaki oran
%k3=0.85 maksimum beton basınç gerilmesi ile betonun silindir mukavemeti
arasındaki oran
%Es=2*10^5 N/mm2 donatı çeliği elastisite modülü

Md=500;
pp=40;
fcd=20;
fctd=1.28;
fyd=365.22;
k1=0.82;
k3=0.85;
Es=2*10^5;

%TASARIM ŞARTLARI
%rob=0.0237 dikdörtgen kesitli kirişlerde dengeli donatı oranı (fyk=420 N/mm2
ve gmc=1.5 şartlarına göre seçilmiştir)
%ro: alt taraftaki çekme donatısı oranı
%rouslu: üst taraftaki basınç donatısı oranı
% 1 - minro=0.8*(fctd/fyd) minimum donatısı oranı
% 2 - maksro=0.02 ve maksrouslu=0.02 maksimum donatı oranı
% 3 - maks(ro-rouslu)=0.85*rob
% 4 - minbw=25 cm minimum kiriş genişliği
% 5 - minh=30 cm minimum kiriş yüksekliği
% 6 - minrouslu=226/(bw*h) en az 2Ø12 montaj donatısı (programın bu aşamasında
bw ve h belli olmadığı için denklem ilerleyen aşamalarda
% oluşturulacaktır)
rob=0.0237;
minro=0.8*(fctd/fyd);
maksro=0.02;
maksrouslu=0.02;
maksroeksirouslu=0.85*rob;
minbw=250;
minh=300;

%Yukarıdaki yönetmelik şartları dışında kolonumuzun kenarları:
%bwmaks=600 mm, hmaks=600 mm olsun
bwmaks=600; hmaks=600;

%Algoritma parametreleri
%itersay: maksimum iterasyon sayısı

```

```

%ps: popülasyon sayısı

itersay=10;
ps=20;

%RASTGELE KİRİŞ BOYUTLARI ATANARAK ÇÖZÜM KÜMELERİNİN BULUNMASI

for i=1:ps
    bw=250+(bwmaks-250)*rand;
    h=300+(hmaks-300)*rand;

    %b ve h değerlerinin cm mertebesine düşürülüp yukarı yuvarlanıp mm
    cinsinden yazılması
    bw=ceil(bw/10)*10;
    h=ceil(h/10)*10;

    %d: kiriş faydalı yükseliği
    d=h-pp;

    %Moment kontrolü
    M1=0.235*fcd*bw*d^2*(1-(0.1175/k3)); %M1: Nmm

    %Tek donatılı olma durumu
    if M1/(10^6)>=Md; %M1 değeri 10^6'ya bölünerek kNm birimine
    dönüştürülüyor

        K=(2*Md*10^6)/(k3*fcd*bw*d^2); %Md değeri 10^6 ile çarpılarak kNm
        birimine dönüştürülüyor

        %a: basınç bloğu derinliği
        a=d*(1-sqrt(1-K));

        As=k3*(fcd/fyd)*a*bw; %As: çekme donatısı alanı

        Asuslu=226; %kirişin üst tarafına 2Ø12 montaj donatısı alanı
        atanmıştır

        ro=As/(bw*d); %alt taraftaki çekme donatısı oranı

        rouslu=Asuslu/(bw*d); %üst taraftaki donatı oranı

        TDA=As+Asuslu;

    elseif M1/(10^6)<Md; %M1 değeri 10^6'ya bölünerek kNm birimine
    dönüştürülüyor

        %Çift sıra donatılı çözüm uygulanırsa

        As1=0.235*(fcd/fyd)*bw*d;
        M2=Md-(M1/10^6);
        As2=(M2*10^6)/(fyd*(d-pp));
        epsuslu=0.003*(1-((k1*k3/0.235)*(pp/d)));
        sigmauslu=Es*epsuslu;

        if sigmauslu>=fyd; %donatının akma durumu

```

```

        sigmauslu=fyd;
    end

    Asuslu=(As2*fyd)/sigmauslu;

    As=As1+As2;

    ro=As/(bw*d);

    rouslu=Asuslu/(bw*d);

    TDA=As+Asuslu;
end

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ

%Geleneksel betonun üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%GBE=316 kg/m3
GBE=316;

%Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%DE=0.76 kg/kg
DE=0.76;

%Betonarme donatısı özgül ağırlığı 7850 kg/m3
doa=7850;

%L=3000 mm uzunluğunda bir kiriş imalatı sonucunda ortaya çıkacak CO2
emisyon miktarını bulalım (kg)
L=3000;

%Beton kaynaklı (kg):
BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;

%Donatı kaynaklı (kg):
DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;

%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM(1,i)=bw;
CM(2,i)=h;
CM(3,i)=ro;
CM(4,i)=rouslu;
CM(5,i)=TDA;
CM(6,i)=BK;
CM(7,i)=DK;
CM(8,i)=TE;

%TASARIM ŞARTLARI KONTROLU
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

% 1 - minro=0.8*(fctd/fyd) minimum donatısı oranı
if ro<minro

```



```

        CM(8,i)=10^9;
    end
    % 2 - maksro=0.02 ve maksrouslu=0.02 maksimum donatı oranı
    if ro>maksro || rouslu>maksrouslu
        CM(8,i)=10^9;
    end
    % 3 - maks(ro-rouslu)=0.85*rob
    if ro-rouslu>maksroeksirouslu
        CM(8,i)=10^9;
    end
    % 4 - minbw=25 cm minimum kiriş genişliği(yönetmelik şartı) ve bizim
    oluşturduğumuz maksimum bw şartı
    if bw<minbw || bw>bwmaks
        CM(8,i)=10^9;
    end
    % 5 - minh=30 cm minimum kiriş yüksekliği (yönetmelik şartı) ve bizim
    oluşturduğumuz maksimum bw şartı
    if h<minh || h>hmaks
        CM(8,i)=10^9;
    end
    % 6 - minrouslu=226/(bw*h) en az 2Ø12 montaj donatısı
    if rouslu<226/(bw*h);
        CM(8,i)=10^9;
    end
    % 7 - Taşıma gücü kontrolü
    M1=0.235*fcd*bw*d^2*(1-(0.1175/k3));
    if M1/(10^6)>=Md; %tek sıra donatılı kesit
        a1=As*fcd/(0.85*fcd*bw);
        Mr=As*fcd*((h-pp)-a1/2);
        if Mr<(Md*10^6)
            CM(8,i)=10^9;
        end
    elseif M1/(10^6)<Md; %çift sıra donatılı kesit
        if ro-rouslu>=(0.85*k1*fcd/fyd)*(600/(600-fyd))*(pp/(h-pp))
            a1=((As-Asuslu)*fcd)/(0.85*fcd*bw);
            Mr=(As*fcd-Asuslu*fcd)*((h-pp)-a1/2)+Asuslu*fcd*(h-pp);
            if Mr<(Md*10^6)
                CM(8,i)=10^9;
            end
        elseif ro-rouslu<(0.85*k1*fcd/fyd)*(600/(600-fyd))*(pp/(h-pp))
            A1=0.85*fcd*bw*k1;
            A2=Asuslu*600-As*fcd;
            A3=-Asuslu*600*pp;
            c1=(-A2+sqrt(A2^2-4*A1*A3))/(2*A1);
            c2=(-A2-sqrt(A2^2-4*A1*A3))/(2*A1);
            if c1<c2
                c=c2;
            else
                c=c1;
            end
            a1=k1*c;
            sigmasuslu=600*(c-pp)/c;
            Mr=(As*fcd-Asuslu*sigmasuslu)*((h-pp)-
a1/2)+Asuslu*sigmasuslu*((h-pp)-pp);
            if Mr<(Md*10^6)
                CM(8,i)=10^9;
            end
        end
    end
end
end

```

```

end

%TLBO ALGORİTMASININ OLUŞTURULMASI
%İterasyon Süreci
for tekrar=1:itersay

    %Öğretmen Fazı
    for i=1:ps
        %En düşük CO2 emisyonunu veren değişkenler sütunun seçilmesi
        [deger, sut]=min(CM(8,:));
        eniyibw=CM(1,sut);
        eniyih=CM(2,sut);
        eniyiro=CM(3,sut);
        eniyirouslu=CM(4,sut);
        eniyiTDA=CM(5,sut);
        eniyiBK=((eniyibw*eniyih-eniyiTDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
        eniyiDK=(eniyiTDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;

        %Öğretmen fazı kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
        %ORTF: Öğretme faktörü
        %mean: MATLAB programında aritmetik ortalama hesaplayan komut
        ORTF=(round(1+rand));
        bw=CM(1,i)+rand*(eniyibw-ORTF*mean(CM(1,:)));
        h=CM(2,i)+rand*(eniyih-ORTF*mean(CM(2,:)));
        ro=CM(3,i)+rand*(eniyiro-ORTF*mean(CM(3,:)));
        rouslu=CM(4,i)+rand*(eniyirouslu-ORTF*mean(CM(4,:)));
        TDA=(ro+rouslu)*bw*h;
        BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
        DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;

        %AMAÇ FONKSİYONUMUZ

        %Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
        TE=BK+DK;

        %Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
        %Değişkenlerin matrisine atanması
        CM1(1,i)=bw;
        CM1(2,i)=h;
        CM1(3,i)=ro;
        CM1(4,i)=rouslu;
        CM1(5,i)=TDA;
        CM1(6,i)=BK;
        CM1(7,i)=DK;
        CM1(8,i)=TE;

        %TASARIM ŞARTLARI KONTROLU
        %Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

        % 1 - minro=0.8*(fctd/fyd) minimum donatısı oranı
        if ro<minro
            CM1(8,i)=10^9;
        end
        % 2 - maksro=0.02 ve maksrouslu=0.02 maksimum donatı oranı
        if ro>maksro || rouslu>maksrouslu
            CM1(8,i)=10^9;
        end
    end
end

```

```

end
% 3 - maks(ro-rouslu)=0.85*rob
if ro-rouslu>maksroeksirouslu
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 4 - minbw=25 cm minimum kiriş genişliği (yönetmelik şartı) ve bizim
oluşturduğumuz maksimum bw şartı
if bw<minbw || bw>bwmaks
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 5 - minh=30 cm minimum kiriş yüksekliği (yönetmelik şartı) ve bizim
oluşturduğumuz maksimum bw şartı
if h<minh || h>hmaks
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 6 - minrouslu=226/(bw*h) en az 2Ø12 montaj donatısı
if rouslu<226/(bw*h);
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 7 - Taşıma gücü kontrolü
M1=0.235*fcd*bw*d^2*(1-(0.1175/k3));
if M1/(10^6)>=Md; %tek sıra donatılı kesit
    a1=(ro*bw*h)*fyd/(0.85*fcd*bw);
    Mr=(ro*bw*h)*fyd*((h-pp)-a1/2);
    if Mr<(Md*10^6)
        CM1(8,i)=10^9;
    end
elseif M1/(10^6)<Md; %çift sıra donatılı kesit
    if ro-rouslu>=(0.85*k1*fcd/fyd)*(600/(600-fyd))*(pp/(h-pp))
        a1=((ro*bw*h)-(rouslu*bw*h))*fyd/(0.85*fcd*bw);
        Mr=((ro*bw*h)*fyd-(rouslu*bw*h)*fyd)*((h-pp)-
a1/2)+(rouslu*bw*h)*fyd*(h-pp);
        if Mr<(Md*10^6)
            CM1(8,i)=10^9;
        end
    elseif ro-rouslu<(0.85*k1*fcd/fyd)*(600/(600-fyd))*(pp/(h-pp))
        A1=0.85*fcd*bw*k1;
        A2=(rouslu*bw*h)*600-(ro*bw*h)*fyd;
        A3=- (rouslu*bw*h)*600*pp;
        c1=(-A2+sqrt(A2^2-4*A1*A3))/(2*A1);
        c2=(-A2-sqrt(A2^2-4*A1*A3))/(2*A1);
        if c1<c2
            c=c2;
        else
            c=c1;
        end
        a1=k1*c;
        sigmasuslu=600*(c-pp)/c;
        Mr=((ro*bw*h)*fyd-(rouslu*bw*h)*sigmasuslu)*((h-pp)-
a1/2)+(rouslu*bw*h)*sigmasuslu*((h-pp)-pp);
        if Mr<(Md*10^6)
            CM1(8,i)=10^9;
        end
    end
end
end

end

%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması

```

```

for i=1:ps
    if CM(8,i)>CM1(8,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end

%Öğrenci Fazı
for i=1:ps
    %Rastgele iki farklı öğrencinin (ogrenci a ve ogrenci b) seçilmesi
    orna=(ceil(rand*ps));
    ornb=(ceil(rand*ps));
    while orna==ornb %Aynı öğrenci denk gelirse, tekrar rastgele seçim
        yapılır
        orna=(ceil(rand*ps));
        ornb=(ceil(rand*ps));
    end

    %Öğrenci fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
    if CM(8,orna)<CM(8,ornb)
        bw=CM(1,i)+rand*(CM(1,orna)-CM(1,ornb));
        h=CM(2,i)+rand*(CM(2,orna)-CM(2,ornb));
        ro=CM(3,i)+rand*(CM(3,orna)-CM(3,ornb));
        rouslu=CM(4,i)+rand*(CM(4,orna)-CM(4,ornb));
        TDA=(ro+rouslu)*bw*h;
        BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
        DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;
    else
        bw=CM(1,i)+rand()*(CM(1,ornb)-CM(1,orna));
        h=CM(2,i)+rand()*(CM(2,ornb)-CM(2,orna));
        ro=CM(3,i)+rand()*(CM(3,ornb)-CM(3,orna));
        rouslu=CM(4,i)+rand()*(CM(4,ornb)-CM(4,orna));
        TDA=(ro+rouslu)*bw*h;
        BK=((bw*h-TDA)/10^6)*(L/1000)*GBE;
        DK=(TDA/(10^6))*(L/1000)*doa*DE;
    end

    %AMAÇ FONKSİYONUMUZ
    %Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
    TE=BK+DK;

    %Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
    %Değişkenlerin matrise atanması
    CM1(1,i)=bw;
    CM1(2,i)=h;
    CM1(3,i)=ro;
    CM1(4,i)=rouslu;
    CM1(5,i)=TDA;
    CM1(6,i)=BK;
    CM1(7,i)=DK;
    CM1(8,i)=TE;

    %TASARIM ŞARTLARI KONTROLU
    %Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

    % 1 - minro=0.8*(fctd/fyd) minimum donatısı oranı
    if ro<minro
        CM1(8,i)=10^9;
    end
end

```

```

% 2 - maksro=0.02 ve maksrouslu=0.02 maksimum donatı oranı
if ro>maksro || rouslu>maksrouslu
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 3 - maks(ro-rouslu)=0.85*rob
if ro-rouslu>maksroeksirouslu
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 4 - minbw=25 cm minimum kiriş genişliği (yönetmelik şartı) ve bizim
oluşturduğumuz maksimum bw şartı
if bw<minbw || bw>bwmaks
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 5 - minh=30 cm minimum kiriş yüksekliği (yönetmelik şartı) ve bizim
oluşturduğumuz maksimum bw şartı
if h<minh || h>hmaks
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 6 - minrouslu=226/(bw*h) en az 2Ø12 montaj donatısı
if rouslu<226/(bw*h);
    CM1(8,i)=10^9;
end
% 7 - Taşıma gücü kontrolü
M1=0.235*fcd*bw*d^2*(1-(0.1175/k3));
if M1/(10^6)>=Md; %tek sıra donatılı kesit
    a1=(ro*bw*h)*fyd/(0.85*fcd*bw);
    Mr=(ro*bw*h)*fyd*((h-pp)-a1/2);
    if Mr<(Md*10^6)
        CM1(8,i)=10^9;
    end
elseif M1/(10^6)<Md; %çift sıra donatılı kesit
    if ro-rouslu>=(0.85*k1*fcd/fyd)*(600/(600-fyd))*(pp/(h-pp))
        a1=((ro*bw*h)-(rouslu*bw*h))*fyd/(0.85*fcd*bw);
        Mr=((ro*bw*h)*fyd-(rouslu*bw*h)*fyd)*((h-pp)-
a1/2)+(rouslu*bw*h)*fyd*(h-pp);
        if Mr<(Md*10^6)
            CM1(8,i)=10^9;
        end
    elseif ro-rouslu<(0.85*k1*fcd/fyd)*(600/(600-fyd))*(pp/(h-pp))
        A1=0.85*fcd*bw*k1;
        A2=(rouslu*bw*h)*600-(ro*bw*h)*fyd;
        A3=- (rouslu*bw*h)*600*pp;
        c1=(-A2+sqrt(A2^2-4*A1*A3))/(2*A1);
        c2=(-A2-sqrt(A2^2-4*A1*A3))/(2*A1);
        if c1<c2
            c=c2;
        else
            c=c1;
        end
        a1=k1*c;
        sigmasuslu=600*(c-pp)/c;
        Mr=((ro*bw*h)*fyd-(rouslu*bw*h)*sigmasuslu)*((h-pp)-
a1/2)+(rouslu*bw*h)*sigmasuslu*((h-pp)-pp);
        if Mr<(Md*10^6)
            CM1(8,i)=10^9;
        end
    end
end
end
end

```

```
end

%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
    if CM(8,i)>CM1(8,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end
end
```



EK 3. Temel için TLBO algoritması kodları

```

%MİN. CO2 EMİSYONU VERECEK ŞEKİLDE TLBO İLE KARE TEKİL TEMEL TASARIMI

%SABİT DEĞERLER
%Beton sınıfı: C20/25
%Donatı çeliği sınıfı: S420
%qem=360 kN/m2 zemin emniyet gerilmesi
%Kolon boyutları: 70x70 cm
%Nd=4500 kN kolon yükleri
%pp=5 cm paspayı

qem=360; %kN/m2
axkolon=700; %kare kolon kenar uzunluğu (mm)
Nd=4500; %kN
emin=(15+0.03*axkolon)/1000; %minimum eksantrisite (m)
Mdx=emin*Nd; %tasarım momenti değeri (kNm)
fzu=1.5*qem; %zemin emniyet gerilmesinin güvenlik katsayısıyla çarpılması
(kN/m2)
minbxb=Nd/fzu; %min. temel alanı (m2)
minbx=0.7; %x ekseninde min. temel uzunluğu (m)
minby=0.7; %y ekseninde min. temel uzunluğu (m)
maksbx=5; %x ekseninde maks. temel uzunluğu atayalım (m)
maksby=5; %y ekseninde maks. temel uzunluğu atayalım (m)
minh=0.25; %min. temel kalınlığı (m)
maksh=5; %maks. temel kalınlığı (m)
pp=0.05; %paspayı (m)
gama=1; %eğilme etkisi katsayısı (eksenel yükleme durumu için gama=1)
fctd=1; %C20/25 beton sınıfı için tasarım çekme dayanımı (N/mm2)
fyd=365; %S420 çeliğinin tasarım çekme dayanımı (N/mm2)

%Algoritma parametreleri
%itersay: maksimum iterasyon sayısı
%ps: popülasyon sayısı

itersay=10;
ps=20;

%RASTGELE TEMEL BOYUTLARI ATANARAK ÇÖZÜM KÜMELERİNİN BULUNMASI

for i=1:ps
    bx=0.7+(maksbx-0.7)*rand; %rastgele temel x eksenini boyutu atanması
    bx=ceil(bx*100)/100; %bx değerinin cm mertebesine düşürülüp yukarı
    yuvarlanıp m cinsinden yazılması
    by=bx; %rastgele temel y eksenini boyutu atanması

    sigmazmaks=(Nd/(bx*by))+(Mdx/(by*(bx^3)/12))*(bx/2); %oluşabilecek
    maksimum zemin gerilmesi (kN/m2)
    sigmazo=Nd/(bx*by); %ortalama zemin gerilmesi (kN/m2)

    h=0.25+(maksh-0.25)*rand; %rastgele temel kalınlığı atanması
    h=ceil(h*100)/100; %bx değerinin cm mertebesine düşürülüp yukarı
    yuvarlanıp m cinsinden yazılması
    d=h-pp;

    b1=(axkolon/1000)+d;
    up=4*b1; %zımbalama çevresi (m)

```

```

Ap=b1*b1; %zımbalama alanı (m2)
Vpd=Nd-Ap*sigmazo; %zımbalama tasarım kesme kuvveti (kN)
Vpr=gama*up*d*fctd*1000; %zımbalama taşıma kesme kuvveti (kN)

fzn=fzu-18*h; %net zemin dayanımı

vd=sigmazo*bx*(bx-axkolon/1000)/2; %kolon yüzünde kesme tasarım kuvveti
(kN)
vcr=gama*fctd*by*d*1000; %kolon yüzünde taşıma kesme kuvveti (kN)

%Donatı Hesabı
mdx=(sigmazo/2)*((bx-axkolon/1000)/2)^2*by; %x ekseninde tasarım
momenti (kNm)
mdy=mdx; %y ekseninde tasarım momenti (kNm)
Asx=(mdx*10^6)/(fyd*0.86*d*1000); %x eksenini doğrultusundaki donatı alanı
(mm2)
Asy=Asx; %y eksenini doğrultusundaki donatı alanı (mm2)
TDA=Asx+Asy; %toplam donatı alanı
minAsx=0.002*bx*d; %min donatı alanı

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ

%Geleneksel betonun üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%GBE=316 kg/m3
GBE=316;

%Betonarme çelik donatısı üretim aşamasından kaynaklı CO2 emisyon miktarı
%DE=0.76 kg/kg
DE=0.76;

%Betonarme donatısı özgül ağırlığı 7850 kg/m3
doa=7850;

%Beton kaynaklı (kg):
BK=((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;

%Donatı kaynaklı (kg):
DK=((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;

%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM(1,i)=bx;
CM(2,i)=by;
CM(3,i)=h;
CM(4,i)=Asx;
CM(5,i)=Asy;
CM(6,i)=TDA;
CM(7,i)=BK;
CM(8,i)=DK;
CM(9,i)=TE;

%TASARIM ŞARTLARI KONTROLU
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

```



```

% 1 - minimum donatı kontrolu
minAsx=0.002*bx*d*10^6;
if Asx<minAsx
    Asx=minAsx;
    Asy=minAsx;
    CM(4,i)=minAsx;
    CM(5,i)=minAsx;
    CM(6,i)=2*minAsx;
    CM(7,i)=((bx*by)*h-(2*minAsx/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
    CM(8,i)=((2*minAsx/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;
    CM(9,i)=CM(7,i)+CM(8,i);
end

% 2 - maksimum zemin gerilmesi kontrolü
sigmazmaks=(Nd/(bx*by))+(Mdx/(by*(bx^3)/12))*(bx/2);
if sigmazmaks>fzu
    CM(9,i)=10^9;
end

% 3 - zımbalama denetimi
b1=(axkolon/1000)+(h-pp);
up=4*b1; %zımbalama çevresi (m)
Ap=b1*b1; %zımbalama alanı (m2)
sigmazo=Nd/(bx*by); %ortalama zemin gerilmesi (kN/m2)
Vpd=Nd-Ap*sigmazo; %zımbalama tasarım kesme kuvveti (kN)
Vpr=gama*up*d*fctd*1000; %zımbalama taşıma kesme kuvveti (kN)
if Vpd>Vpr
    CM(9,i)=10^9;
end

% 4 - net zemin dayanımı denetimi
fzn=fzu-18*h;
if sigmazmaks>fzn
    CM(9,i)=10^9;
end

% 5 - kolon yüzünde kesme kuvveti denetimi
vd=sigmazo*bx*(bx-axkolon/1000)/2;
vcr=gama*fctd*1000*bx*d;
if vd>vcr
    CM(9,i)=10^9;
end

% 6 - boyut kontrolu
if bx<0.70 || bx*by<1 || h<0.25 || bx>5 || h>5
    CM(9,i)=10^9;
end

end

%TLBO ALGORİTMASININ OLUŞTURULMASI
%İterasyon Süreci
for tekrar=1:itersay

    %Öğretmen Fazı

```

```

for i=1:ps
    %En düşük CO2 emisyonunu veren değişkenler sütunun seçilmesi
    [deger, sut]=min(CM(9, :));
    eniyibx=CM(1, sut);
    eniyiby=eniyibx;
    eniyih=CM(3, sut);
    eniyiAsx=CM(4, sut);
    eniyiAsy=eniyiAsx;
    eniyiTDA=2*eniyiAsx;
    eniyiBK=((eniyibx*eniyiby)*eniyih-
(eniyiTDA/10^6)*(eniyibx+2*(eniyih-2*pp)))*GBE;
    eniyiDK=((eniyiTDA/10^6)*(eniyibx+2*(eniyih-2*pp))*doa*DE;
    eniyiTE=eniyiBK+eniyiDK;

    %Öğretmen fazı kurallarına göre rastgele değişkenler oluşturulması
    %ORTF: Öğretme faktörü
    %mean: MATLAB programında aritmetik ortalama hesaplayan komut
    ORTF=(round(1+rand));
    bx=CM(1, i)+rand*(eniyibx-ORTF*mean(CM(1, :)));
    by=bx;
    h=CM(3, i)+rand*(eniyih-ORTF*mean(CM(3, :)));
    Asx=CM(4, i)+rand*(eniyiAsx-ORTF*mean(CM(4, :)));
    Asy=Asx;
    TDA=2*Asx;
    BK=((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
    DK=((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp))*doa*DE;

    %AMAÇ FONKSİYONUMUZ

    %Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
    TE=BK+DK;

    %Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
    %Değişkenlerin matrisine atanması
    CM1(1, i)=bx;
    CM1(2, i)=by;
    CM1(3, i)=h;
    CM1(4, i)=Asx;
    CM1(5, i)=Asy;
    CM1(6, i)=TDA;
    CM1(7, i)=BK;
    CM1(8, i)=DK;
    CM1(9, i)=TE;

    %TASARIM ŞARTLARI KONTROLU
    %Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

    % 1 - minimum donatı kontrolü
    d=h-pp;
    minAsx=0.002*bx*d*10^6;
    if Asx<minAsx
        Asx=minAsx;
        Asy=minAsx;
        CM1(4, i)=minAsx;
        CM1(5, i)=minAsx;
        CM1(6, i)=2*minAsx;
        CM1(7, i)=((bx*by)*h-(2*minAsx/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
        CM1(8, i)=((2*minAsx/10^6)*(bx+2*(h-2*pp))*doa*DE;

```

```

        CM1(9,i)=CM1(7,i)+CM1(8,i);
    end

    % 2 - maksimum zemin gerilmesi kontrolü
    sigmazmaks=(Nd/(bx*by))+(Mdx/(by*(bx^3)/12))*(bx/2);
    if sigmazmaks>fzu
        CM1(9,i)=10^9;
    end

    % 3 - zımbalama denetimi
    b1=(axkolon/1000)+(h-pp);
    up=4*b1; %zımbalama çevresi (m)
    Ap=b1*b1; %zımbalama alanı (m2)
    sigmazo=Nd/(bx*by); %ortalama zemin gerilmesi (kN/m2)
    Vpd=Nd-Ap*sigmazo; %zımbalama tasarım kesme kuvveti (kN)
    Vpr=gama*up*d*fctd*1000; %zımbalama taşıma kesme kuvveti (kN)
    if Vpd>Vpr
        CM1(9,i)=10^9;
    end

    % 4 - net zemin dayanımı denetimi
    fzn=fzu-18*h;
    if sigmazmaks>fzn
        CM1(9,i)=10^9;
    end

    % 5 - kolon yüzünde kesme kuvveti denetimi
    vd=sigmazo*bx*(bx-axkolon/1000)/2;
    vcr=gama*fctd*1000*bx*d;
    if vd>vcr
        CM1(9,i)=10^9;
    end

    % 6 - boyut kontrolü
    if bx<0.70 || bx*by<1 || h<0.25 || bx>5 || h>5
        CM1(9,i)=10^9;
    end

end

%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
    if CM(9,i)>CM1(9,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end

%Öğrenci Fazı
for i=1:ps
    %Rastgele iki farklı öğrencinin (ogrenci a ve ogrenci b) seçilmesi
    orna=(ceil(rand*ps));
    ornb=(ceil(rand*ps));
    while orna==ornb %Aynı öğrenci denk gelirse, tekrar rastgele seçim yapılır
        orna=(ceil(rand*ps));
        ornb=(ceil(rand*ps));
    end
end

```

```

end

%Öğrenci fazına göre yeni değişkenler oluşturulması
if CM(8,orna)<CM(8,ornb)
bx=CM(1,i)+rand*(CM(1,orna)-CM(1,ornb));
by=bx;
h=CM(3,i)+rand*(CM(3,orna)-CM(3,ornb));
Asx=CM(4,i)+rand*(CM(4,orna)-CM(4,ornb));
Asy=Asx;
TDA=Asx+Asy;
BK=((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
DK=((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;
else
bx=CM(1,i)+rand()*(CM(1,ornb)-CM(1,orna));
by=bx;
h=CM(3,i)+rand()*(CM(3,ornb)-CM(3,orna));
Asx=CM(4,i)+rand()*(CM(3,ornb)-CM(3,orna));
Asy=Asx;
TDA=Asx+Asy;
BK=((bx*by)*h-(TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
DK=((TDA/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;
end

%AMAÇ FONKSİYONUMUZ
%Beton ve donatı kaynaklı toplam emisyon(kg):
TE=BK+DK;

%Yeni Çözüm Matrisinin Oluşturulması
%Değişkenlerin matrise atanması
CM1(1,i)=bx;
CM1(2,i)=by;
CM1(3,i)=h;
CM1(4,i)=Asx;
CM1(5,i)=Asy;
CM1(6,i)=TDA;
CM1(7,i)=BK;
CM1(8,i)=DK;
CM1(9,i)=TE;

%TASARIM ŞARTLARI KONTROLU
%Aşağıdaki şartlar sağlanmazsa TE=10^9 olarak atanacaktır

% 1 - minimum donatı kontrolü
d=h-pp;
minAsx=0.002*bx*d*10^6;
if Asx<minAsx
Asx=minAsx;
Asy=minAsx;
CM1(4,i)=minAsx;
CM1(5,i)=minAsx;
CM1(6,i)=2*minAsx;
CM1(7,i)=((bx*by)*h-(2*minAsx/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*GBE;
CM1(8,i)=((2*minAsx/10^6)*(bx+2*(h-2*pp)))*doa*DE;
CM1(9,i)=CM1(7,i)+CM1(8,i);
end

% 2 - maksimum zemin gerilmesi kontrolü
sigmazmaks=(Nd/(bx*by))+(Mdx/(by*(bx^3)/12))*(bx/2);

```

```

if sigmazmaks>fzu
    CM1(9,i)=10^9;
end

% 3 - zımbalama denetimi
b1=(axkolon/1000)+(h-pp);
up=4*b1; %zımbalama çevresi (m)
Ap=b1*b1; %zımbalama alanı (m2)
sigmazo=Nd/(bx*by); %ortalama zemin gerilmesi (kN/m2)
Vpd=Nd-Ap*sigmazo; %zımbalama tasarım kesme kuvveti (kN)
Vpr=gama*up*d*fctd*1000; %zımbalama taşıma kesme kuvveti (kN)
if Vpd>Vpr
    CM1(9,i)=10^9;
end

% 4 - net zemin dayanımı denetimi
fzn=fzu-18*h;
if sigmazmaks>fzn
    CM1(9,i)=10^9;
end

% 5 - kolon yüzünde kesme kuvveti denetimi
vd=sigmazo*bx*(bx-axkolon/1000)/2;
vcr=gama*fctd*1000*bx*d;
if vd>vcr
    CM1(9,i)=10^9;
end

% 6 - boyut kontrolü
if bx<0.70 || bx*by<1 || h<0.25 || bx>5 || h>5
    CM1(9,i)=10^9;
end

end

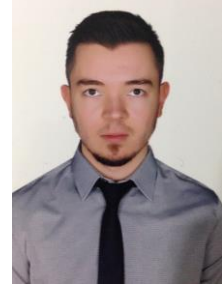
%Yeni ve eski çözümlerden iyi olanın CM çözüm matrisine atanması
for i=1:ps
    if CM(9,i)>CM1(9,i)
        CM(:,i)=CM1(:,i);
    end
end

end
end

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Alper ÇAKMAK
Doğum Yeri	Malkara/Tekirdağ
Doğum Tarihi	17.10.1994
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0538 457 46 59
E-Posta Adresi	alper-cakmak@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği