

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYON
PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMLERİ: TEMELLERİ VE
UYGULAMALARI

Süleyman Mesut YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı

Matematik Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Seda GÖKTEPE KÖRPEOĞLU

Ağustos, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METASEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYON
PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMLERİ: TEMELLERİ VE
UYGULAMALARI**

Süleyman Mesut YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 09.08.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, Matematik Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Seda GÖKTEPE
KÖRPEOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Seda GÖKTEPE KÖRPEOĞLU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYLIKÇI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahsen FİLİZ, Üye
Biruni Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Seda GÖKTEPE KÖRPEOĞLU sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyon Problemlerinin Çözümleri: Temelleri ve Uygulamaları” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Süleyman Mesut YILMAZ

İmza



*Aileme
ve
eşime*

TEŐEKKÜR

Bu tez çalışmasında bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman yardımcı olan saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Seda GÖKTEPE KÖRPEOĞLU'na, yüksek lisans eğitimin süresince ders aldığım tüm hocalarıma ve öğretim hayatım boyunca destekleri ile her zaman yanımda olan sevgili eşim Esra YILMAZ ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Süleyman Mesut YILMAZ



İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Hipotezi ve Amacı	4
1.3 Orijinal Katkı	5
2 OPTİMİZASYON VE MODELLEME	6
2.1 Optimizasyon	6
2.1.1 Optimizasyon Kavramları	6
2.2 Modelleme	7
2.2.1 Modellemenin Temel Adımları	7
2.3 Optimizasyon Modelleri Oluşturma	8
2.3.1 Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması	8
2.4 Optimizasyon Metotları	10
2.4.1 Optimizasyon Metotlarının Sınıflandırılması	10
3 EVRİMSEL HESAPLAMA VE DOĞADAN ESİNLENEN ALGORİTMALAR	12
3.1 Evrimsel Algoritmalar	12
3.1.1 Evrimsel Hesaplama	12
3.1.2 Evrimsel Strateji	12
3.2 Doğadan Esinlenen Algoritmalar	13
3.2.1 Sürü Zekası Kavramı	13
3.3 Genetik Algoritma	14
3.4 Benzetilmiş Tavlama Algoritması	16
3.5 Parçacık Sürü Algoritması	18
3.6 Ateş Böceği Algoritması	20
4 SİSMİK TASARIMLI YAPISAL SİSTEMLER	22
4.1 Bibliyometrik Analiz	22
4.2 Verilerin Analizi	24

5 BULGULAR	36
5.1 Matematiksel Model	36
5.2 Optimizasyon Tekniklerinin Uygulanması	40
5.2.1 Sayısal Model-Genetik Algoritma	40
5.2.2 Sayısal Model-Benzetilmiş Tavlama Algoritması	41
5.2.4 Sayısal Model- Parçacık Sürü Algoritması	43
5.2.5 Sayısal Model-Ateş Böceği Algoritması.....	45
6 SONUÇ	47
KAYNAKÇA	50
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	55



SİMGE LİSTESİ

k_B	Boltzmann sabiti
T_0	Başlangıç sıcaklığı
γ	Işık emilim katsayısı
I	Işık kaynağının yoğunluğu



KISALTMA LİSTESİ

ACO	Karıncı Kolonisi Algoritması
ADAS	İlave Sönümlenme ve Sertlik
BBD	Kutulu Eğilme Sönümleyicisi
CS	Guguk Kuşu Araması
ES	Evrin Stratejisi
FA	Ateş Böceği Algoritması
GA	Genetik Algoritmalar
HPED	Hibrit Pasif Enerji Dağıtma Cihazı
PSO	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
QP	Kuadratik Programlama
SA	Benzetilmiş Tavlama
SI	Sürü Zekası
WWO	Su Dalgası Optimizasyonu
XADAS	X-Plakalı İlave Sönümlenme ve Sertlik Sönümleyici

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Modelleme sürecinin yapısı.....	7
Şekil 2.2 Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.3 Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması.....	11
Şekil 4.1 Yayın seçim sürecinin akış şeması.....	23
Şekil 4.2 1986'dan 2024'e kadar, yayınlanan çalışmaların sayısı.....	24
Şekil 4.3 İki'den fazla yayını olan bir işbirliği ağındaki 37 ortak yazar.....	31
Şekil 4.4 Kelime bulutları olarak en popüler 100 yazar anahtar kelimesi.....	32
Şekil 4.5 Popülerlikte ilk 100 yazar anahtar kelimesi için eş-oluşum ağı.....	32
Şekil 4.6 Sınır ötesi işbirliği yapan ortaklar olan 26 ülkeden oluşan ağ.....	34
Şekil 4.7 Solda kurumların, ortada ülkelerin ve sağda dergilerin yer aldığı ağ gösteren üç alanlı bir diyagram.....	35
Şekil 5.1 Çelik yastıklar üzerindeki transversal yükleme.....	37
Şekil 5.2 Kapalı form çözümlerinde kullanılan parametreler.....	39
Şekil 5.3 Genetik algoritma akış şeması.....	40
Şekil 5.4 Benzetilmiş tavlama algoritmasının akış şeması.....	41
Şekil 5.5 PSO akış diyagramı.....	43
Şekil 5.6 Ateş böceği algoritmasının akış diyagramı.....	45

Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyon Problemlerinin Çözümleri: Temelleri ve Uygulamaları

Süleyman Mesut YILMAZ

Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seda GÖKTEPE KÖRPEOĞLU

Evrimsel hesaplama ve doğadan ilham alan meta-sezgisel algoritmalar, çeşitli amaçlara yönelik olarak optimizasyon performansını artırmak için son yıllarda tercih edilen önemli matematiksel yöntemlerdir. Bu algoritmalar çok yönlü oluşları ve etkililikleri sebebiyle belirli sorunları ele almak için özelleştirilebilen geniş bir yelpaze sunarlar. Gerçek yaşam problemlerini matematiksel modellemede geleneksel yöntemlerden daha iyi performans gösterirler.

Yapıların sismik tasarımı, depreme dayanıklı yapıların inşası için önemli bir uygulama alanıdır. Bu amaçla, enerji dağıtma cihazlarının kullanımı ve bu cihazların çeşitli amaçlar için optimizasyonu bir diğer önemli konudur.

Yapılan çalışmada ilk aşamada evrimsel hesaplama, meta-sezgisel yöntemler ve doğadan ilham alan algoritmalar kullanılarak sismik tasarıma sahip yapısal sistemlerin optimizasyonu konularında yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi yapılmıştır. Çalışmanın diğer aşamasında ise literatürde var olan bir enerji dağıtıcı çelik yastık modeli ele alınmış ve maruz kaldığı yükün transversal (enine) doğrultuda olduğu düşünülmüştür. Ele alınan çelik yastık modelinin geometrik boyutlandırılması belirli kısıtlara tabi bir optimizasyon problemi olarak ifade edilmiştir. Optimizasyon probleminin çözümü için genetik algoritma, benzetilmiş tavlama algoritması, ateş böceği algoritması ve parçacık sürü algoritması

kullanılmıştır. Kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birbirlerini doğruladıkları sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, enerji sönümleyici elemanlar kullanılarak bir yapının sismik dayanıklılık performansının artırılmasına yönelik optimizasyon problemi modellenmesi ve evrimsel algoritmalar, meta-sezgisel yöntemler ve doğadan esinlenen algoritmalar yardımıyla sismik tasarım optimizasyonu konularına önemli bir örnek sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, sismik tasarım, meta-sezgisel algoritmalar, doğadan esinlenen algoritmalar, bibliyometrik analiz.



Solutions of Optimization Problems with Metaheuristic Methods: Fundamentals and Applications

Süleyman Mesut YILMAZ

Department of Mathematical Engineering

Master of Science

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Seda GÖKTEPE

Evolutionary computation and nature-inspired meta-heuristic algorithms are important mathematical methods that have been used in recent years to improve optimisation performance for various objectives. Due to their versatility and efficiency, they offer a wide range of algorithms that can be customised to address specific problems. They outperform traditional methods in mathematical modelling of real life problems.

A crucial field of application for the building of earthquake-resistant structures is seismic design. For this purpose, the use of energy dissipation devices and their optimisation for various purposes is another important issue.

In the first stage of this study, a bibliometric analysis of the studies on the optimisation of structural systems with seismic design using evolutionary computation, meta-heuristics and nature-inspired algorithms was performed. In the other stage of the study, an energy dissipating steel cushion model existing in the literature is considered and the load to which it is subjected is considered to be in the transversal direction. The geometrical dimensioning of the steel pillow model is expressed as an optimisation problem subject to certain constraints. Genetic

algorithm, simulated annealing algorithm, firefly algorithm and particle swarm algorithm are applied to the analysis of the optimization problem. When the results obtained from the optimisation algorithms are compared, it is concluded that they validate each other. This study provides an important example of seismic design optimization using evolutionary algorithms, meta-heuristics and nature-inspired algorithms by modeling an optimization problem for improving the seismic resilience performance of a structure using energy dissipating components.

Keywords: Optimisation, seismic design, meta-heuristic algorithms, nature inspired algorithms, bibliometric analysis.



1.1 Literatür Özeti

Bakış açısına bağlı olarak birçok anlama gelse de, optimizasyon her alanda mevcuttur. Optimizasyon literatüründe kullanılan terminoloji ve optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması karmaşık olabileceği gibi çeşitlilik de gösterebilir. Geleneksel yaklaşımlar tipik olarak yerel arama algoritmalarını içerirken, sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımlar global arama algoritmalarını ve güncel gelişmeleri içermektedir. Literatürde sezgisel ve meta-sezgisel tanımları konusunda fikir birliği yoktur, bazı yazarlar bu terimleri birbirinin yerine kullanmaktadır. Çoğu meta-sezgisel algoritma doğanın bazı soyutlamaları kullanılarak oluşturulduğundan, büyük ölçüde doğadan etkilenirler. Dolayısıyla, doğadan ilham alan sezgisel veya meta-sezgisel algoritmaları inceleyebilir ve problemleri nasıl başarılı bir şekilde çözeceğimizi öğrenebiliriz. Rastgelelik her alanda var olduğundan, algoritma oluştururken bu rastgeleliğin kullanımı oldukça önemlidir. Ayrıca bu kavram son dönemlerde kullanılan bir çok yeni arama algoritmasında etkin bir şekilde yer bulmaktadır. Günümüzde kullanılan stokastik arama tekniklerinin temelini evrimsel algoritmalar ya da meta-sezgisel teknikler oluşturmaktadır. Dahası, evrimsel algoritmalar ve doğadan esinlenen meta-sezgisel algoritmalar, özellikle de sürü zekasına dayalı olanlar, zorlu optimizasyon sorunlarını çözmeye yönelik modern yaklaşımlarda giderek daha sık kullanılmaktadır [1].

Karmaşık optimizasyon problemleri büyük ölçüde doğadan ilham alan algoritmalar, meta-sezgisel yöntemler ve evrimsel hesaplama kullanılarak çözülebilir. Bu algoritmalar, belirli sorunları ele almak için özelleştirilebilen geniş bir yelpaze sunarak geleneksel yöntemlerden sıklıkla daha iyi performans gösterirler. Bu algoritmaların çok yönlülüğü ve etkinliği, onları gerçek yaşam problemlerini modelleme zorluklarına kadar geniş bir kullanım alanı için uygun hale getirmektedir. Bu algoritmalar, geleneksel matematiksel tekniklerin yetersiz kalabileceği zor problemlere güçlü çözümler sağlamaktadır. Biyolojik evrimden ve doğal olaylardan ilham alırlar. Evrimsel algoritmalar büyük ölçekli optimizasyon

problemleri için etkilidir ve genetik algoritmalar, parçacık sürüsü, karınca kolonisi sistemleri ve karıştırılmış kurbağa sıçraması gibi çeşitli algoritmalar işlem süresi, yakınsama hızı ve sonuç kalitesi açısından oldukça önemlidir [2].

Doğadan esinlenen algoritmalar, gerçek yaşam problemlerini modelleyebilen matematiksel modeller için verimli ve doğru bir şekilde çözdüğü gösterilen doğada gözlemlenen spiral hareketlere dayalı olanlar gibi özelleştirilebilir [3]. Genetik algoritmalar, diferansiyel evrim ve dağılım tahmini algoritmaları gibi çeşitli evrimsel yönlerin birleştirilmesi, evrimsel algoritmaların uyarlanabilirliğini artırabilir ve çeşitli görevler için optimizasyon performansını iyileştirebilir [4]. Su dalgası optimizasyonu (WWO) gibi doğal olaylardan türetilen yeni meta-sezgisel teknikler, en gelişmiş evrimsel algoritmalara karşı rekabet gücü sergilemekte ve pratik mühendislik optimizasyonu konularında kapsamlı kullanım için büyük umut vaat etmektedir [5].

Sismik yapı tasarımı ve bu bağlamda sismik enerji dağıtma cihazlarının kullanımı ve bu cihazların çeşitli amaçlar için boyutsal optimizasyonu önemli bir çalışma alanıdır.

Sismik enerji dağıldığında, sismik olarak savunmasız yerlerdeki geleneksel yapılar önemli hasara uğrayabilir. Sismik giriş enerjisinin bir kısmının enerji dağıtıcı cihazlarla dağıtılması, depreme dayanıklı yapısal inşaatla gelişen bir uygulamadır [6]. Daha fazla sigorta elemanı eklemek, sismik giriş enerjisini dağıtmanın bir yöntemidir. Bina yapısal sismik koruması, enerjiyi etkili bir şekilde dağıtmak için minyatür çubuk tipi yapısal sigortalar kullanan yeni hiyerarşik enerji dağıtma sistemleri sayesinde yer değiştirmeye dayalı bir yaklaşım kullanılarak tasarlanabilir [7].

Hibrit pasif enerji dağıtma cihazı (HPED), taban kaymasını, çatı yer değiştirmelerini ve katlar arası sürüklenmeyi azaltarak binaların sismik performansını artırırken, XADAS ve sürtünme damperlerine göre daha fazla sismik giriş enerjisi dağıtır [8]. Kablo askılı köprü kulelerinin sismik performansı, güçlü sismik uyarım altında elastik davranışı korurken, kule ve köprü genelindeki talepleri azaltan düşük akma noktalı çelik sismik bağlantının enerji dağıtma sistemi ile büyük ölçüde iyileştirilmiştir [9]. Köprüler için önerilen pasif enerji dağıtma cihazı, gelişmiş enerji dağıtma kapasitesi ve dinamik olaylar sırasında ve sonrasında

istikrarlı davranışı nedeniyle uygun fiyatlı sismik güçlendirme için uygun bir tasarım sunmaktadır [10]. Enerji dağılımını artırarak ve sismik talebi azaltarak, şekil hafızalı alaşım ve Coulomb sürtünme damperleri gibi pasif enerji dağıtma teknolojileri bir yapının sismik direncini artırma yeteneğine sahiptir [11].

Nikel-titanyum alaşımlı şekil hafızalı cihazlar, sürtünme sistemleri ve viskoelastik kesme damperleri gibi pasif enerji dağıtma sistemleri, sismik strese karşı yapısal tepkiyi etkili bir şekilde artırmaktadır [12]. Sismik olarak dayanıklı binalar için, modüler burkulma sınırlandırılmalı destek mükemmel kümülatif süneklik stabilite ile uyarlanabilir bir enerji dağıtma mekanizması sağlar [13]. Metal plastisitesine dayanan yeni bir enerji dağıtıcı, bina yapılarını depremlerden koruma yeteneğine sahiptir. Tasarımının henüz rafine edilmesi ve doğrulanması gerekebilir [14]. Daha düşük inşaat maliyeti ve kabul edilebilir sertlik, sönümlenme ve süneklik seviyeleri ile önerilen Kutulu Eğilme Sönümleyicisi (BBD), mühendislik yapılarının sismik koruması için devrim niteliğinde bir enerji dağıtma cihazıdır [15]. Depreme dayanıklı yapılarda, ek sönümlenme ve sertlik cihazları olarak kaynaklanmış çelik üçgen plakalar, mukavemet veya sertlikten ödün vermeden sismik enerjiyi verimli bir şekilde dağıtır [16]. Kuvvetli depremler sırasında orta düzeyde rijitliğe ve olağanüstü enerji dağıtma özelliklerine sahip binalar, moment dayanımlı çerçevelerin ve eş merkezli çaprazlı çerçevelerin ADAS elemanlarıyla etkili bir şekilde yükseltilmesinin sonucudur [17]. ADAS bileşenleri ve diğer deprem enerjisi dağıtma teknolojileri San Francisco'daki bir yapının sismik güncellemesinde etkin bir şekilde kullanılmış, güvenliği artırmış ve hasarı en aza indirmiştir [18]. İran'ın depreme dayanıklı yapılarında, ek bir sönümlenme ve rijitlik (ADAS) cihazı olarak kaynaklı çelik levha kullanarak, rijitlik veya mukavemet bozulması yaratmadan sismik enerjiyi verimli bir şekilde dağıtmak mümkündür [19].

Bu tezde ele alınan bir enerji sönümleyici eleman olan çelik yastıklar tezin ilerleyen bölümlerinde anlatılacağı üzere çeşitli özellikleri bakımından yapıların sismik tasarımında kullanılan örneklerden biridir. Tez için bir enerji sönümleyicisi olarak seçilmiş olmasının sebebi literatürde gerçek yaşam problemi olarak modelinin var olması ve böylece elde edilen sonuçların doğruluklarının daha güvenilir biçimde kontrol edilebileceği gerçeğidir.

Metasezgisel algoritmalar, sismik enerji dağıtma cihazlarının optimizasyon problemlerinde önemli bir yer bulmuştur. Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), genetik algoritmalar (GA) ve makine öğrenmesini içeren bazı algoritmalar, sismik yükleri yüksek doğrulukla tahmin etmek için uyarlanabilir nöro-bulanık sistemlerle etkili bir şekilde birleştirilmiştir [20]. Bu algoritmaların uygulaması tahminle sınırlı değildir; aynı zamanda sismik tepki azaltma sistemlerinin tasarımında ve kontrolünde de önemli bir rol oynarlar. Örneğin, bir maksimum enerji dağılımı algoritması ve bir modifiye edilmiş değişken enerji dağılımı algoritması, bir manyetoreolojik damper kullanarak modifiye edilmiş enerji dağılımı algoritmasını kontrol eder ve sismik tepki azaltımı için yarı aktif cihazların kontrolünde metasezgisel algoritmaların esnekliğini gösterir [21]. Genetik algoritmaların katlar arası kaymalar ve toplam ivmeler gibi çeşitli hedefler arasındaki ödünleşimleri değerlendirmek için uygulanması, pasif enerji dağıtma sistemlerinin çok amaçlı evrimsel tasarımı ile daha da gösterilmiş ve karar vericilere aydınlatıcı bilgiler sunmuştur [22]. Ayrıca, olasılıksal sismik taleplere dayalı tasarım algoritmalarının histeretik enerji dağıtıcı cihazlarla donatılmış binaların rehabilitasyonuna uygulanması, bu algoritmaların rehabilitasyondan sonra yapısal bütünlüğü ve güvenliği garanti etmek için pratikte nasıl kullanılabileceğini göstermektedir [23]. Yukarıda bahsedilen araştırmaların birleşik bulguları, tasarım ve rehabilitasyondan tahmin ve kontrole kadar sismik enerji dağılımının çeşitli yönlerini ele almada metasezgisel algoritmaların uyarlanabilirliğini ve verimliliğini vurgulamaktadır.

1.2 Tezin Hipotezi ve Amacı

Sunulan tezin hipotezi enerji sönümleyici elemanlardan biri olan ve literatürde önemli yeri olan bir çelik yastık modelinin boyutlarının meta-sezgisel ve doğadan esinlenen algoritmalar kullanılarak optimize edilmesi ile iyileştirilerek transversal (enine) yüke maruz kaldığında daha optimal düzeylerde enerji dağıtabileceğinin öngörülebileceğidir. Bu kapsamda öncelikle literatürde var olan çalışmaları inceleme amacıyla WOS ve SCOPUS veri tabanlarından alınan bilgiler ışığında verilerle bibliyometrik analiz yapılmıştır. Ardından, ortaya atılan hipotezi gerçekleştirmek için problem matematiksel olarak tek amaçlı ve kısıtlı optimizasyon problemi olarak modellenmiştir. Bu sayede ele alınan optimizasyon

problemi çeşitli meta-sezgisel ve doğadan esinlenen algoritmalar yardımı ile analiz edilmiştir. Kullanılan algoritmalar (genetik algoritma, benzetilmiş tavlama tekniği, parçacık sürü algoritması ve ateş böceği algoritması) yardımıyla elde edilen sonuçların verileri karşılaştırılarak optimal boyutlandırma ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Literatür araştırması aşamasında yapılan bibliyometrik analiz sonucunda çeşitli enerji sönümleyici yapısal elemanların var olduğu ve bunların sismik tasarımda kullanıldığı belirlenmiştir. Bu elemanların çeşitli meta-sezgisel ve doğadan esinlenen algoritmalar yardımı ile boyutsal optimizasyonunu yapıldığı çalışmaların sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, literatürde yer alan enerji sönümleyici yapısal elemanlardan olan bir çelik yastık modeli ele alınarak meta-sezgisel ve doğadan esinlenen algoritmalarından bazıları kullanılarak optimal boyutlandırma yapılmıştır. Kullanılan algoritmalarından elde edilen sonuçlar birbirlerini destekler nitelikte olduğu için ve daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında tutarlı sonuçlar elde edildiğinden enerjinin dağıtılması için kullanılan bu tarz elemanların optimal boyutlandırılması etkililiğinin artması hususunda ümit vermektedir.

2

OPTİMİZASYON VE MODELLEME

2.1 Optimizasyon

Optimizasyon, belirli kısıtlamalara tabi olarak bir dizi olası seçenek arasından bir soruna en iyi çözümü bulmaya odaklanan matematiksel bir disiplindir. Optimizasyonun amacı, farklı olası çözümlerle ilişkili performansı veya maliyeti ölçen bir amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize etmektir. Optimizasyon problemleri birçok bilim alanında ortaya çıkmaktadır ve çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi uygulamalı matematiğin ilgi alanına girmektedir [24, 25]. Optimizasyon, karar verme süreçlerini hızlandırmak ve karar kalitesini artırmak için kullanılır ve gerçek yaşam problemlerinin verimli, doğru ve gerçek zamanlı modellenmesine ve çözümüne katkı sağlar [26].

Optimizasyon kavramının geliştirilmesinde, araştırmacılar öncelikle modelleme üzerine odaklanmıştır. Optimizasyon alanındaki bilinen ilk çalışmalar Leontief tarafından yapılarak yayınlanmıştır. Leontief çalışmasında ABD' nin ekonomik yapısını ve dış ticaretini amaçlamıştır [27]. Dantzig, simpleks algoritmasını geliştirerek optimizasyon problemlerinin çözümü ile ilgili önemli bir temel oluşturmuştur [28].

Matematiksel modelleme ve çözüm aşamaları uygulamalı matematiğin diğer alanlarında olduğu gibi optimizasyon konusunda da en temel iki aşamadır [29]. Matematiksel modelleme, gerçek hayattaki bir durumun matematiksel temsilini içerir. Çözüm aşaması ise matematiksel modeli tatmin eden (gerçekleyen) en iyi çözümü bulmayı kapsar.

2.1.1 Optimizasyon Kavramları

Amaç Fonksiyonu: Amaç fonksiyonu, maksimize veya minimize edilmesi gereken fonksiyondur. Kâr, maliyet, verimlilik veya hata gibi optimizasyon probleminin hedefini temsil eder.

Karar Değişkenleri: Bunlar optimizasyon sürecinde kontrol edilebilen veya ayarlanabilen değişkenlerdir. Karar vericinin kullanabileceği seçenekleri temsil ederler.

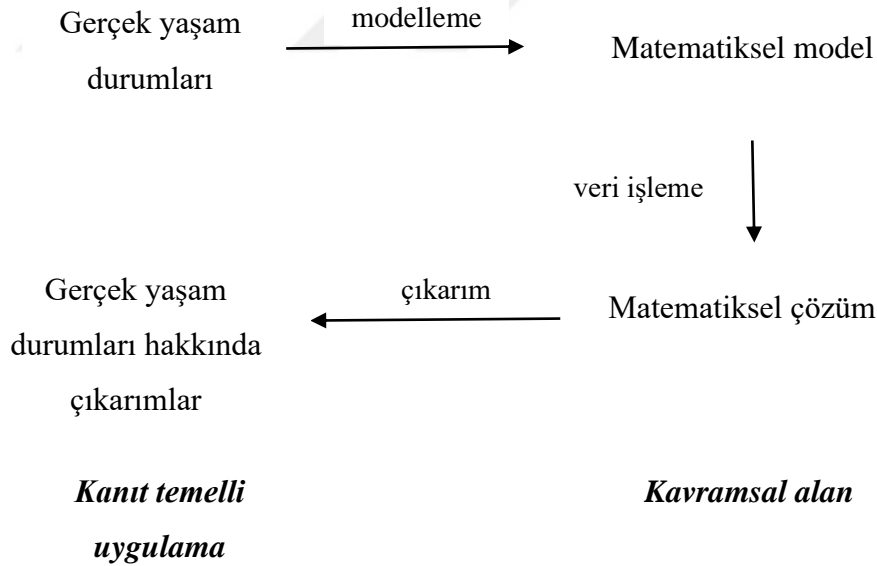
Kısıtlamalar: Bunlar, çözümün uygulanabilir olması için karşılanması gereken sınırlamalar veya gerekliliklerdir. Kısıtlamalar eşitlikler veya eşitsizlikler olabilir.

Uygulanabilir Bölge: Kısıtlamaları karşılayan tüm olası çözümlerin kümesidir. Uygulanabilir bölge, optimum çözüm arayışının gerçekleştiği kapsamı tanımlar.

Global Optimum: Amaç fonksiyonu açısından tüm uygulanabilir çözümler arasında mümkün olan en iyi çözümdür. Ulaşılabilecek en optimal sonucu temsil eder.

Yerel Optimum: Komşu çözümlerden daha iyi olan ancak genel olarak en iyi olması gerekmeyen bir çözümdür. Yerelleştirilmiş bir alan içinde amaç fonksiyonundaki en optimal sonucu temsil eder [30].

2.2 Modelleme



Şekil 2.1 Modelleme sürecinin yapısı [31]

2.2.1 Modellemenin Temel Adımları

Problem Tanımı: Ele almak istenilen sorun veya cevaplamak istenilen soru açıkça tanımlanmalıdır.

Veri Toplama: Modeli bilgilendirmek ve doğrulamak için kullanılacak ilgili veriler toplanmalıdır.

Değişken Tanımlama: Problemi veya soruyu etkileyen temel değişkenler veya faktörler belirlenmelidir.

Model Formülasyonu: Kullanılacak model türüne karar verilmelidir (örneğin, matematiksel, istatistiksel, simülasyon) ve teori veya ampirik kanıtlara dayalı olarak değişkenler arasında denklemler veya ilişkiler geliştirilmelidir.

Parametre Tahmini: Uygulanabilirse, istatistiksel yöntemler veya deneysel veriler kullanarak modelin parametreleri tahmin edilmelidir.

Model Doğrulama: Tahminleri veya çıktıları gerçek dünya verileri veya gözlemleriyle karşılaştırarak model doğrulanmalıdır.

Duyarlılık Analizi: Modelin sağlamlığını anlamak ve kritik faktörleri belirlemek için modelin girdilerindeki veya parametrelerindeki değişikliklere karşı duyarlılığı değerlendirmelidir.

Model Kalibrasyonu: Gerekirse, gözlemlenen verilere uyumunu iyileştirmek için model parametreleri veya yapısı ayarlanmalıdır.

Model Testi: Performansı ve güvenilirliği değerlendirmek için model farklı senaryolar veya koşullar altında test edilmelidir.

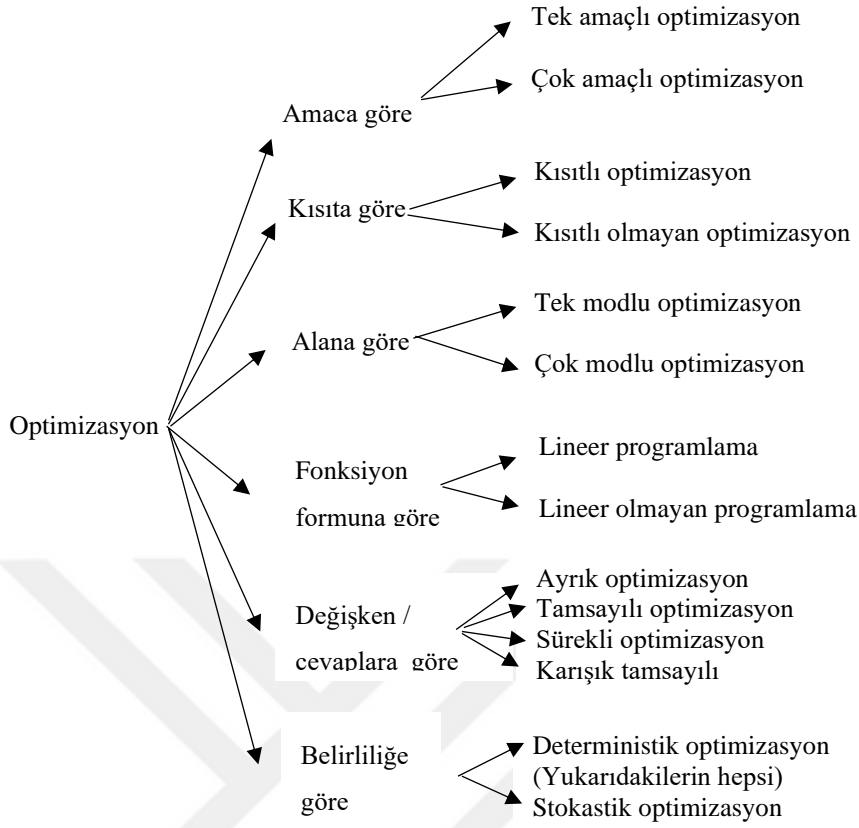
Model Yorumlama: Modelin sonuçları ele alınan sorun veya soru bağlamında yorumlanmalı, karar verme veya daha fazla araştırma için bilgi sağlayabilecek sonuçlar ve içgörüler çıkarılmalıdır.

Bu adımlar spesifik modelleme yaklaşımına, sorunun karmaşıklığına ve mevcut veri ve kaynaklara bağlı olarak değişebilir [29].

2.3 Optimizasyon Modelleri Oluşturma

2.3.1 Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması

Optimizasyon modellerinin sınıflandırılması ve optimizasyon literatüründe kullanılan terminolojiler çok çeşitli ve karmaşık olabilmektedir. Bu terimlerin birçoğu Şekil 2.2' de özetlenmektedir [1].



Şekil 2.2 Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması [1]

Bir optimizasyon probleminin kolay veya zor olarak kabul edilmesi, birçok faktöre ve matematiksel formülasyonların gerçek yaklaşımına bağlı olabilir. Optimizasyon algoritmaları genellikle yinelemeli olduğundan, bir optimizasyon problemini çözmek için yüzlerce, binlerce, hatta milyonlarca hedef değerlendirmesi gerekir [1].

Sınıflandırmada belirtildiği gibi farklı algoritmalar farklı ihtiyaçlara yönelik olarak ortaya çıkmıştır. Bunun yanında herbirinin avantajlı ve dezavantajlı durumlara sahip olması mümkündür. Örneğin, amaç fonksiyonu düzgün değilse, gradyansız bir yöntem olan Nelder-Mead simpleks yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemin dezavantajı yavaş yakınsayabileceği ve yerel ekstremumda takılabileceği gerçeğidir. Trust-region yöntemi, interior-point yöntemi gibi algoritmalar doğrusal olmayan optimizasyonu çözmeye yönelik algoritmalar ancak bunlar çoğunlukla yerel arama yöntemleridir. Bu yöntemler, optimizasyon amaç fonksiyonunun tanım bölgesinin dışbükey hale geldiği özel durumlar için daha verimli olabilirler. Gradyan tabanlı yaklaşımlar amacın çok modlu olmadığı durumunda, düzgün amaç

fonksiyonlarının çözümünde oldukça etkilidirler. Kuadratik programlama (QP) ve sıralı kuadratik programlama algortimaları dışbükeylik sözkonusu olduğunda daha avantajlı olarak kullanılabilirler. Tüm problem fonksiyonlarının doğrusal olduğu durum olan lineer programlama problemleri için simpleks yöntemi etkili bir şekilde kullanılabilir [1].

2.4 Optimizasyon Metotları

2.4.1 Optimizasyon Metotlarının Sınıflandırılması

Rastgeleleştirme ve global (küresel) arama içeren tüm stokastik algoritmalar literatürde metasezgisel olarak adlandırma eğilimindedir. Yerel aramadan global aramaya geçiş için kullanışlı bir yöntem rastgeleleştirmedir. Bu amaçla, çalışılmakta olan neredeyse tüm metasezgisel algoritmaları küresel optimizasyon için uygun hale getirmeyi hedeflemektedirler. Ancak pratikte çoğu problem için küresel optimalliğe ulaşmak hala zor bir durumdur.

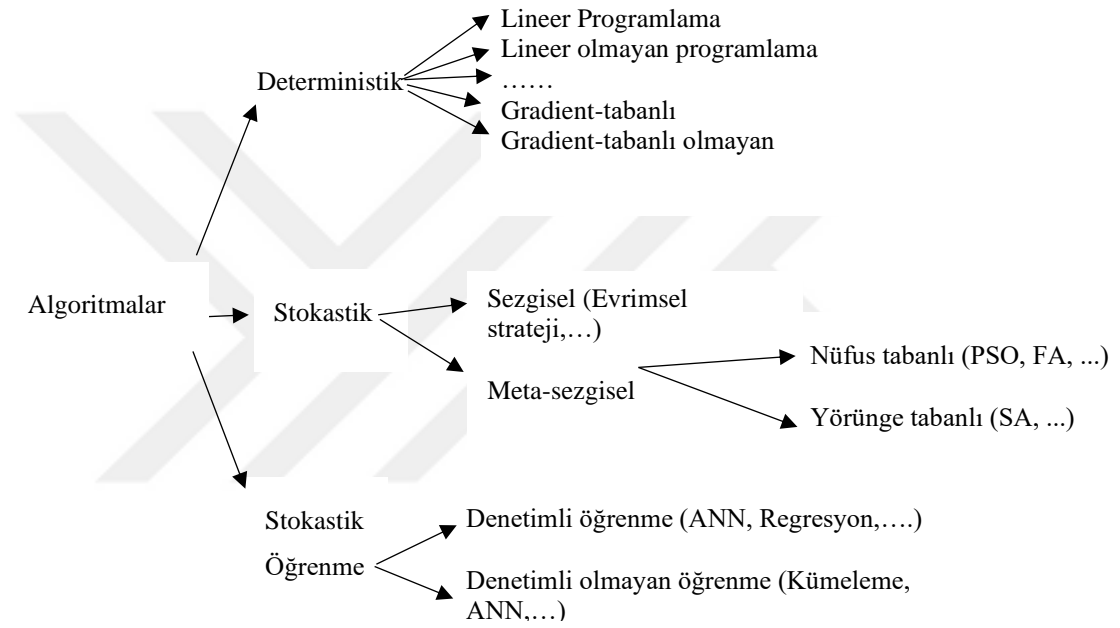
Milyonlarca yıl geçtikçe, değıştikçe, doğa neredeyse tüm sorunlarına ideal cevaplar keşfetmiştir. Bu keşifler sayesinde, Darwin'in evrim teorisini temel alan doğadan ilham alan bazı algoritmalar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu bağlamda bu algoritmaların biyolojiden esinlendikleri söylenir. Metasezgisel algoritmaların çoğu da doğanın bazı soyutlamalarına dayalı olarak geliştirildikleri için doğadan esinlenmiştir. Doğanın bu başarısından ilham alarak, optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik olarak yeni algoritmalar geliştirilmiş ve bu algoritmalar yapıları gereği metasezgisel algoritmalar sınıfına yerleştirilmiştir [1].

Bir metasezgisel algortimada olması beklenen iki temel bileşen vardır. Bu temel bileşenler öncelikle rastgeleleştirme ve en iyi çözümlerin seçimi şeklinde belirtilebilir. Rastgeleleştirme çözümlerin yerel en iyilerde sıkışıp kalmasını önleyerek çözümlerin çeşitliliğini artırırken, en iyilerin seçimi, çözümlerin en iyiye yakınsamasını sağlamaktadır. Bu temel bileşenlerin en uygun şekilde bir araya getirilmesi sayesinde yerel optimallikte takılıp kalmadan global optimalliğe ulaşılabilir.

Diğer sınıflandırmalarda olduğu gibi metasezgisel algoritmaların sınıflandırmasının da literatürde pek çok farklı şekli yer almaktadır. Yörünge

tabanlı ve popülasyon tabanlı oluşlarına göre sınıflandırma en yaygın olanıdır. Örneğin, benzetilmiş tavlama (SA) algoritması, tasarım uzayı veya arama uzayı boyunca parçalı bir tarzda hareket eden tek bir çözüm kullandığı için yörünge tabanlıdır. Diğer taraftan genetik algoritmalar, ateş böceği algoritması (FA) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritmalar popülasyon tabanlıdır.

İlgili optimizasyon problemlerini çözen algoritma türleri, yapay sinir ağı (YSA), regresyon ve destek vektör makinesi (DVM) gibi bazı makine öğrenimi algoritmaları da dahil edilerek Şekil 2.3'de özetlenmiştir.



Şekil 2.3 Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması [1]

EVİRİMSEL HESAPLAMA VE DOĞADAN ESİNLENEN ALGORİTMALAR

3.1 Evrimsel Algoritmalar

Çözümleri bir başlangıç noktasından başlayarak iteratif bir şekilde belirlenen optimizasyon yöntemleri deterministik yöntemlerdir. Neredeyse tüm analitik yöntemler ve arama algoritmaları için, olasılık ve istatistikteki kısım hariç, rastgelelik yer almamaktadır. Sürü zekasına dayanan, rastgeleliği temel alan evrimsel algoritmalar çeşitli yönlerden zorlu optimizasyon problemleri olarak ele alabileceğimiz problemler için son yıllarda tercih edilmektedirler [1].

3.1.1 Evrimsel Hesaplama

Gerçekte, rastgelelik her yerdedir ve algoritma geliştirirken rastgeleliği kullanmak önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda rastgelelik modern arama algoritmalarında da kullanılarak etkililiğini arttırmaktadır [32]. Evrimsel hesaplama, tüm bu algoritmaların bir üst başlığı olarak düşünülebilir. Son dönemlerde daha popüler olan bilgisayar bilimleri ve yapay zeka alanları da hesaplamalı zekanın bir uygulama alanıdır.

Rastgeleliğin belirli deterministik bileşenlerle uygun bir kombinasyonla dengeli bir şekilde kullanılması oldukça önemlidir. Rastgelelik oranı olması gerekenden yüksekse, çözümler istenildiği gibi yakınsamayabilir. Eğer hiç rastgelelik yoksa, o zaman deterministik yöntemlerdeki gibi dezavantajlara sahip olabilirler [33, 34].

3.1.2 Evrimsel Strateji

Evrimsel strateji (ES) 1960'larda ve 1970'lerin başında I. Rechenberg, H.P. Schwefel ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu strateji geliştirilirken kullanılan temel fikir, probleme bağlı mutasyon ve seçim yoluyla temsilleri kullanmaktır. Mutasyon, çözümün her bir bileşenin normal dağılımlı rastgele bir sayı ile değiştirilmesi yoluyla uygulanan rastgele bir adımdır. Dağılımın standart sapması mutasyonun derecesini kontrol etmek için kullanılır. Bunun yanında, seçim, en

uygun olanın hayatta kalmasını sağlamak için farklı çözümlerin uygunluğunu karşılaştırma yoluyla yapılmaktadır.

En basit durumu popülasyonda sadece iki çözümün bulunduğu durum yardımıyla anlatabiliriz. Öncelikle, mevcut çözüm ana çözüm olarak kabul edilir. Bu mevcut çözüm mutasyona uğratarak yeni çözüm oluşturulur. Yeni çözüm, optimizasyondaki amacımızın uygunluğuna göre değerlendirilir. Yeni çözüm, sadece eski ebeveyninden daha uygunsa yeni ebeveyn çözüm haline gelir. Aksi halde, başka bir mutasyona uğramış çözüm üretilir, diğer çözüm atılır. Bu yaklaşım şeması $(1 + 1)$ -ES (Evrimsel Strateji) olarak adlandırılır [35]. 2 den fazla yeni çözümün mutasyon yardımıyla üretildiği $(1 + \lambda)$ -ES anlatılan durumun daha genel halidir.

Evrimsel Strateji, genetik algoritma başta olmak üzere birçok evrimsel algoritmaların temel prosedürlerinde bazı benzerlikler paylaşması nedeniyle birçok evrimsel algoritmanın yolunu açmıştır [36].

Mutasyon, çaprazlama, seçim ve çözüm gösterimlerinin tam ayrıntıları farklı algoritmalar için farklı olsa da, özleri hemen hemen aynıdır. Örneğin, yeni çözümlerin yeniden üretilmesi için seçim uygunluklarına göre yapılabilirken, çözümlerin temsilleri gerçek sayılar veya ikili diziler şeklinde olabilir. Bu konularla ilgili geniş bir literatür bulunmaktadır ve tezimizde kullanacağımız bazı algoritmaların temellerini tanıtacağız [37].

3.2 Doğadan Esinlenen Algoritmalar

3.2.1 Sürü Zekası Kavramı

Sürü zekası (SI) olarak adlandırılan davranış gerçek sayı rastgeleliğini ve araçlar ya da parçacıklar arasında bir çeşit iletişimi kullanır. SI tabanlı algoritmalar çok çeşitli problemlerle başa çıkmak için çok esnek ve etkili olduğundan son dönemlerde büyük ilgi görmüş önemli ölçüde çalışma alanı genişlemiştir. Ateş böceği algoritması (FA), guguk kuşu araması (CS), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve karınca kolonisi optimizasyonunda (ACO) kullanılan bazı bileşenlerde sürü zekası kavramının mantığından yararlanılmıştır [38, 39].

Bu bölümde, tezin uygulama kısmında kullanacağımız bazı algoritmaları kısaca tanıtacağız.

3.3 Genetik Algoritma

Evrimsel algoritmalarından en yaygın kullanılanlardan biri genetik algoritmadır. Temel ilkeleri Darwin'in Evrim Teorisi, doğal seçilime dayanmaktadır. 1960'lı ve 1970'li yıllarda Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre güçlü olan ve daha iyi uyum gösterenin hayatta kalma ihtimali daha yüksektir. Çaprazlama, seçim ve mutasyon kavramlarını birlikte kullanarak yapay sistemlere uygulayan ilk kişi Holland'dır.

Genetik algoritmalar, yeni nesli oluşturmak için en iyi adayların seçildiği bu doğal seçim sürecini temel alır. John Holland tarafından yapılan ilk çalışmalardan bu yana, birçok genetik algoritmaları geliştirilmiş ve pek çok alanda çeşitli optimizasyon problemlerine uygulanmıştır [40].

GA, amaç fonksiyonunun doğrusal olmadığı, süreksizliğin söz konusu olduğu veya rastgele gürültü teriminin eklendiği durumlar gibi çeşitli zor optimizasyon problemlerine çözümler üretebilir. Ancak bazı dezavantajları da vardır. Popülasyon büyüklüğü, uygunluk fonksiyonunun formülasyonu, mutasyon ve çaprazlama oranı gibi önemli parametrelerin seçimi ve yeni popülasyonların seçim kriterlerinin seçimi önemlidir [41].

Temel Prosedür

Genetik algoritmalarda popülasyon denilen ve problem için olası birçok çözümü temsil eden bir çözüm kümesi vardır. Genetik algoritmanın temel fikri bir amaç fonksiyonunun kromozomları temsil etmek üzere bit dizileri veya karakter dizileri olarak kodlanmasını, dizilerin genetik operatörler tarafından manipülasyon işlemlerini ve ilgili probleme bir çözüm bulmak amacıyla uygunluklarına göre seçilmesini içerir.

Popülasyonlar birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Burada bireyin her bir elemanına gen denir. Genlerin her biri çözüm kümesindeki bir parametreyi yani değeri temsil eder. Bu parametrelerin belli bir sırayla birleşmesi ile oluşan çözüme kromozom denir. Bir diğer ifade ile genler kromozomları, kromozomlar popülasyonu oluşturur.

Doğal seçim süreci bir popülasyondan en iyi bireylerin seçilmesiyle başlar. Genellikle aşağıdaki prosedürle devam eder:

- (1) Çözümlerin diziler halinde kodlanması,
- (2) Bir uygunluk fonksiyonu ve seçim kriteri tanımlanması,
- (3) Başlangıç popülasyonun oluşturulması
- (4) Seçim, çaprazlama, mutasyon, kullanarak popülasyonun geliştirilmesi,
- (5) Uygunluklarına göre yeni çözümlerin seçilmesi ve eski popülasyonun daha iyi bireylerle değiştirilmesi,
- (6) Problemin çözüm(ler)ini elde etmek için sonuçların kodunun çözülmesi [40].

Parametrelerin seçimi

Genetik algoritmadaki en önemli konulardan biri uygun bir uygunluk fonksiyonunun formülasyonu veya seçimidir. Çeşitli yollarla uygunluk fonksiyonunun tanımlanması mümkündür. Bireysel uygunluk atamasının yapılabileceği durum aşağıdaki gibi tercih edilebilir.

$$F(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^N f(x_i)} \quad (3.1)$$

Burada N popülasyon boyutudur. Uygunluk fonksiyonunun uygun biçimi, daha yüksek uygunluğa sahip çözümlerin verimli bir şekilde seçilmesini sağlar.

Popülasyon büyüklüğü doğru biçimde seçilmelidir. Popülasyon büyüklüğünün çok olması durumunda amaç fonksiyonunun değerlendirmesinde çok fazla hesaplama gerekir. Bunun yanında, popülasyon büyüklüğü yeterli değilse, olması gereken evrim gerçekleşemez. Küçük bir popülasyonda, çok daha uygun bir birey çok erken ortaya çıkarsa, tüm (küçük) popülasyonu alt edecek kadar yavru üretebilir. Bu durumda sistem yerel bir optimum değerine yaklaşır.

Bir diğer önemli konu seçim kriteridir. Mevcut popülasyonun nasıl seçileceğine bağlı olarak uygunluğu yüksek bireylerin korunması ve bu bireylerin bir sonraki nesle aktarılması sağlanmış olur.

Mutasyon ve çaprazlama için birden fazla bölge bulunması durumu da oldukça önemlidir. Tek bir bölgede mutasyon çok verimli değildir. Ayrıca, mutasyonun istenilenden yüksek olması durumunda var olan popülasyonun yok olma tehlikesi

ortaya çıkmaktadır. Çaprazlama sayesinde popülasyonun karıştırma yeteneğini artırılarak verimliliği artırabilir [42, 43].

3.4 Benzetilmiş Tavlama Algoritması

Global optimizasyon problemleri için benzetilmiş tavlama (SA) rastgele bir arama yaklaşımıdır. Metaforik olarak bir metalin en az enerji ile soğutulması ve daha büyük bir kristal boyutu ile dondurulması şeklinde gerçekleşen bir malzeme işlemine benzer [1]. Tavlama işlemi hassas sıcaklık ve soğutma hızı kontrolü gerektirir.

Kirk Patrick ve arkadaşları 1983 yılında SA'yı optimizasyon problemlerine uygulayan ilk kişilerdir [44]. O zamandan beri çok sayıda araştırma yapılmıştır. Yerel minimumlarda takılıp kalmaya yatkın olan gradyan tabanlı ve diğer deterministik arama yöntemleri haricinde, SA'nın en önemli avantajı yerel minimumlarda takılıp kalmaya direnme kabiliyetidir. Gerçekte, çok yavaş soğutma ile birlikte yeterli rastgeleleştirme kullanılırsa SA'nın küresel optimale yakınsayacağı kanıtlanmıştır. Metafor açısından SA'daki iterasyonlar, zıplayan topların bir manzara boyunca dağılmasına benzetilebilir [1].

Benzetimli tavlama algoritması, mükemmel olmayan bazı değişiklikleri korurken amaç fonksiyonunu iyileştiren değişiklikleri kabul eden rastgele arama prensibine göre çalışır. Örneğin bir minimizasyon görevinde, f amaç fonksiyonunun maliyetini (veya değerini) azaltan daha iyi hamleler veya ayarlamalar p olasılığı ile kabul edilecektir; ancak, f 'yi yükselten bazı değişiklikler de p olasılığı ile kabul edilecektir. Geçiş olasılığı olarak da bilinen bu p olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır [1]:

$$p = \exp\left(-\frac{\delta E}{k_B T}\right), \quad (3.2)$$

Burada T tavlama işlemi kontrol etmek için kullanılan sıcaklık ve k_B Boltzmann sabitidir. Enerji seviyesindeki değişim δE ile gösterilir. Fizikteki Boltzmann dağılımı bu geçiş olasılığını hesaplamak için kullanılır. δE 'yi amaç fonksiyonunu δf 'deki değişime bağlamanın en kolay yolu $\delta E = \gamma \delta f$ kullanmaktır, burada γ reel bir sabittir. Genellikle ödün vermeden kolaylık sağlamak için $k_B = 1$ ve $\gamma = 1$ kullanabiliriz.

Sonuç olarak, p olasılığı basitçe

$$p(\delta f, T) = e^{-\frac{\delta f}{T}}. \quad (3.3)$$

olur.

Bir değişikliğin kabul edilebilir olduğu rastgele bir r sayısı kullanılarak bulunur. Sonuç olarak, $p > r$ ise kabul edilebilirdir.

Bu durumda uygun sıcaklığın seçimi kritik önem taşımaktadır. Eğer T çok yüksekse ($T \rightarrow \infty$), o zaman $p \rightarrow 1$, belirli bir δf değişikliği için neredeyse tüm değişikliklerin kabul edileceğini gösterir. T çok düşükse ($T \rightarrow 0$), herhangi bir $\delta f > 0$ (daha kötü çözüm) $p \rightarrow 0$ olarak nadiren kabul edilecek ve çözümün çeşitliliğini sınırlandıracaktır, ancak δf 'deki herhangi bir iyileşme neredeyse her zaman kabul edilecektir. Aslında, sadece daha iyi çözümlere izin verildiğinden ve sistem etkin bir şekilde bir tepeye tırmandığından veya indiğinden, $T \rightarrow 0$ istisnai durumu gradyan tabanlı tekniğe karşılılık gelir. T çok yüksekse, sistem yüksek enerjilidir ve bu durumda minimuma ulaşmak oldukça zordur. Bunun yanında, T çok düşükse, çözüm yerel bir minimumda takılabilir ve diğer küresel minimumlara atlamak için yeterli enerjisi kalmayabilir. Sonuç olarak, doğru bir başlangıç sıcaklığı hesaplanmalıdır [1].

Soğutma sürecinin nasıl kontrol edileceği diğer önemli konudur. Soğutma sürecini kontrol etmek için çok sayıda kullanılan yöntem vardır.

Doğrusal ve geometrik soğutma düzenli olarak kullanılan iki soğutma şemasıdır.

1. Doğrusal bir soğutma süreci:

$$T = T_0 - \beta t. \quad (3.4)$$

Başlangıç sıcaklığı T_0 ve iterasyonlar için sözde zaman t 'dir. β soğutma hızı, $t \rightarrow t_f$ (maksimum iterasyon sayısı) değerine ulaşıldığında $T \rightarrow 0$ olacak şekilde seçilmelidir, bu da genellikle $\beta = T_0/t_f$ ile sonuçlanır.

2. Geometrik soğutma işlemi sıcaklığı $0 < \alpha < 1$ faktörü kadar düşürür, böylece T 'nin yerini αT alır.

$$T(t) = T_0 \alpha^t, \quad (t = 1, 2, \dots, t_f). \quad (3.5)$$

İkinci yolun faydası, $\rightarrow \infty$ olduğunda $T \rightarrow 0$ olması ve maksimum t_f yineleme sayısını sağlama gerekliliğini ortadan kaldırmasıdır. Soğutma işlemi, sistemin kararlı düzeyde kalabilmesi için olması gereken yavaşlıkta kalmalıdır.

Ayrıca, belirli bir sıcaklık için birkaç amaç fonksiyonu değerlendirmesi gereklidir. Çok az sayıda değerlendirme yapılması durumunda sistemin kararlı hale gelememesi ve sonuç olarak küresel optimale yakınsamaması ihtimali vardır. Çok fazla değerlendirme yapılması durumu zaman alıcıdır ve bu durumda sistem daha yavaş yakınsayacaktır.

Problemin fiziksel durumdan kaynaklanan ve amaç fonksiyonunu ilgilendiren uygun bir başlangıç sıcaklığı T_0 uygulanabilir. Amaç fonksiyonu hakkında yeterince fiziksel bilgiye sahip değilsek, sezgisel teknikler uygulayabiliriz. Uygun başlangıç sıcaklığı seçiminden sonra, nihai sıcaklık sıfır olmalıdır [45].

3.5 Parçacık Sürü Algoritması

Parçacık sürü algoritması (PSO), Kennedy ve Eberhart tarafından 1995 yılında geliştirilmiştir. Sürü zekası kavramını temel alır. İsminde de yer alan sürü parçacıklarının çeşitli yörüngeler boyunca hareket ederek optimal noktayı araması temeline dayanır [1,46].

Her parçacık, mevcut küresel en iyi g^* konumuna ve geçmişteki kendi en iyi konumu x_i^* ye doğru çekilirken, aynı zamanda rastgele hareket etme eğilimindedir [47].

Bir parçacık yörüngeler boyunca hareket ederken daha iyi bir konum bulduğunda, bu konumu mevcut parçacık için yeni en iyi konum olarak kaydeder. İterasyonlar gerçekleştirildiğinde tüm parçacıklar için mevcut yeni bir en iyi bulunabilir. Amaç, hedef artık iyileşmeye kadar veya belirli sayıda iterasyondan sonra tüm mevcut en iyi çözümler arasından küresel en iyiyi bulmaktır. x_i^* parçacık i için mevcut en iyi ve $g^* \approx \min\{f(x_i)\}$ için ($i = 1, 2, \dots, n$) t 'deki mevcut küresel en iyi olmak üzere parçacıkların hareket etmesidir [1, 48].

x_i ve v_i sırasıyla i parçacığı için konum vektörü ve hız olsun. Yeni hız vektörü aşağıdaki formülle belirlenir:

$$v_i^{t+1} = v_i^t + \alpha\epsilon_1[g^* - x_i^t] + \beta\epsilon_2[x_i^{*(t)} - x_i^t] \quad (3.7)$$

Burada ϵ_1 ve ϵ_2 iki rastgele vektördür ve her giriş 0 ile 1 arasında değerler alır. α ve β parametreleri öğrenme parametreleri veya hızlanma sabitleridir ve tipik olarak $\alpha \approx \beta \approx 2$ olarak alınabilir [1,49].

Bir parçacığın başlangıç hızı öncelikle belirlenmelidir. Bu başlangıç hızı rastgele bir vektör olarak alınabilir; ancak $[0, v_{max}]$ aralığında olmalıdır. Yeni konum daha sonra şu şekilde güncellenebilir:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1}\Delta t \quad (3.8)$$

Burada Δt (sözde) zaman artışıdır. Yinelemeli algoritmalarda ayrık zaman artışı veya iterasyonla uğraştığımız için, her zaman $\Delta t = 1$ olarak ayarlayabiliriz ve

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki güncelleme denklemlerinin parçacıkların fiziksel sistemine dayandığını, ancak matematiksel veya sayısal bakış açısından değişkenlerin birimlerini dikkate almaya gerek olmadığını belirtmek gerekir. Bu aynı zamanda SI temelli diğer algoritmalar için de geçerlidir. v_i herhangi bir değer olabilmesine rağmen, genellikle $[0, v_{max}]$ aralığında sınırlandırılır. Hızlar çok yüksek olduğunda kararsız bir sisteme ortaya çıkabilir [1].

Standart PSO algoritmasının verimliliğini arttırmak için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri $\theta(t)$ atalet fonksiyonunu kullanmaktır. Bu durumda v_i^t yerine $\theta(t)v_i^t$ kullanılır. Kullanılan θ , 0 ile 1 arasında değerler alır. Genel olarak $\theta \approx 0,5 - 0,9$ alınır. Bu durumda parçacıkların hareketinin kararlı olması sağlanabilir ve böylece sistemin daha hızlı yakınsaması sonucu ortaya çıkabilir [1,50].

$$v_i^{t+1} = \theta(t)v_i^t + \alpha\epsilon_1[g^* - x_i^t] + \beta\epsilon_2[x_i^{*(t)} - x_i^t] \quad (3.10)$$

3.6 Ateş Böceği Algoritması

Ateş böceği algoritması (FA), Xin-She Yang tarafından 2008 yılında geliştirilmiştir. Doğadan esinlenen bir algoritma olmasının temelinde ateş böceklerinin yanıp sönme davranışları gözlemlenerek geliştirilmiştir. Ateş böceği algoritması uygulaması kolay, esnek ve basit bir algoritmadır.

Doğada yaklaşık 2000 ateş böceği türünün olduğu bilinmektedir. Bu ateş böceklerinin çoğu kısa ve ritmik parlamalar üretir. Ateş böceklerinin parlama şekli belirli türler için eşsizdir. Yanıp söndüğü görülen parlama ışığı bir biyoluminesans süreci ile üretilir. Bu tür ışıkların iletişim ve potansiyel avı çekmek gibi iki temel işlevi vardır. Bu işlevlere ek olarak, parlamasının, potansiyel avcılara karşı koruyucu bir uyarı mekanizması olma görevi de vardır.

Yanıp sönme hızı ve süresi, ritmik yanıp sönme, her iki cinsiyet arasındaki sinyal sistemidir. Dişiler, aynı türde bir erkeğin benzersiz yanıp sönme modeline yanıt verirken, bazı türlerde örneğin, Photuris, dişi ateşböcekleri biyoluminesan kur sinyallerine kulak misafiri olabilir ve hatta diğer türlerin çiftleşme yanıp sönme modelini taklit ederek onları cezbedip yanıp sönmeleri potansiyel uygun bir eş sanabilecek erkek ateşböceklerini yiyebilir.

Bir ateşböceğinin çekiciliği β ile gösterilir. β ateş böceklerinin birbirlerine uzaklıklarına göre farklılaşır. Tekillikten kaçınmak için aşağıdaki çekicilik formunu kullanıyoruz:

$$\beta = \beta_0 \exp[-\gamma r^2] \quad (3.11)$$

Burada β_0 , $r = 0$ mesafesindeki çekicilik ve γ ışık soğurma katsayısıdır. r , iki ateşböceği arasındaki mesafedir. Bu mesafe problemin türüne bağlı olarak en uygun anlamda ifade edilmelidir.

Yanıp sönen ışık, optimize edilecek amaç fonksiyonu ile ilişkilendirilerek formüle edilebilir. Basitçe parlaklık amaç fonksiyonunun değeriyle orantılıdır.

Daha çekici (daha parlak) başka bir j ateşböceğine doğru çekilen bir i ateşböceğinin hareketi şu şekilde belirlenir:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 \exp[-\gamma r^2] (x_j^t - x_i^t) + \alpha \epsilon_i^t \quad (3.12)$$

Burada ikinci terim çekicilikten kaynaklanmaktadır ve β_0 , $r = 0$ sıfır mesafesindeki çekiciliktir. Üçüncü terim, α rastgeleştirme parametresi ve ϵ_i^t , t zamanında bir Gauss dağılımından çekilen rastgele sayıların bir vektörü olmak üzere rastgeleleştirmedir. Diğer çalışmalar da, Lévy dağılımı gibi diğer dağılımlara kolayca genişletilebilen ϵ_i^t cinsinden rastgeleleştirmeyi kullanmaktadır.

Mutasyon hem yerel hem de küresel arama için kullanılır. ϵ_i^t , Gauss veya Lévy dağılımı kullanıldığında daha büyük ölçekte mutasyon üretir. Öte yandan, α çok küçük bir değer olarak seçilirse, mutasyon çok küçük olabilir ve böylece bir alt uzayla sınırlı olabilir. Bununla birlikte, FA'daki iki döngüdeki güncelleme sırasında, seçimin yanı sıra sıralama da kullanılır.

Ateş böceği algoritmasında çekimin kullanılması özelliği sürü zekası tabanlı algoritmalar için ilk örnektir. Yerel çekim uzun mesafeli çekimden daha güçlüdür. Ateş böceği algoritmasındaki popülasyon böylece birden fazla alt gruba ayrılabilir. Her grup potansiyel olarak yerel bir optimal değer etrafında toplanabilir. Bu yerel modlar arasında, problemin gerçek optimumu olan küresel bir en iyi çözümü veren çözüm vardır. Bu özelliklerinden dolayı ateş böceği algoritması çok modlu problemlere başarılı bir şekilde uygulanabilir.

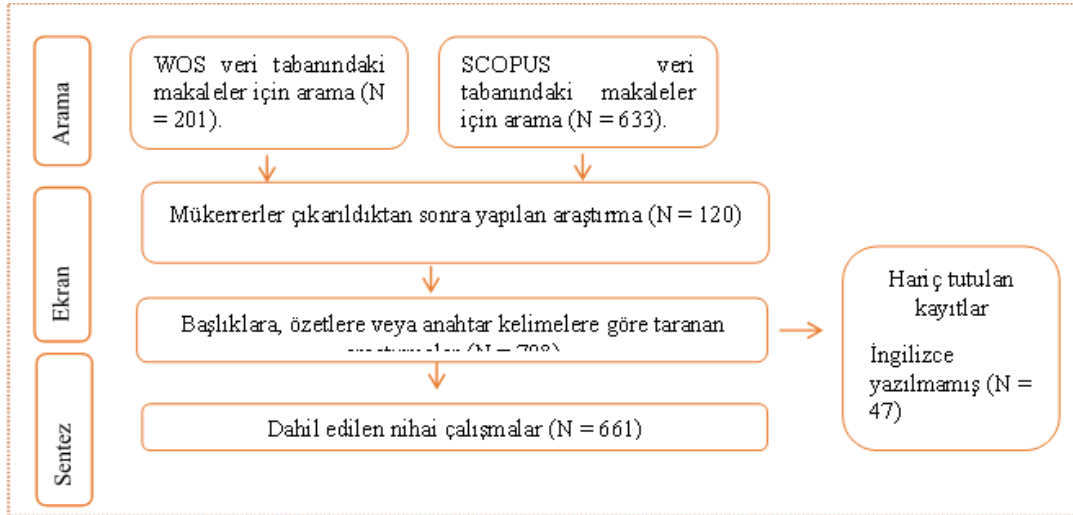
$\gamma = 0$ ve $\alpha = 0$ olduğunda eşitlik (3.12)'den, ateş böceği algoritmasının diferansiyel evrimin bir varyantına dönüştüğü görülebilir. Ayrıca, ateş böceği algoritmasının $\beta_0 = 0$ olduğunda benzetimli tavlama algoritmasına dönüştüğü görülebilir. Bunun yanında, x_j^t, g^* ile değiştirildiğinde, hızlandırılmış parçacık sürü algoritması elde edilmiş olur. Bu nedenle, diferansiyel evrim kavramı, hızlandırılmış parçacık sürü algoritması ve benzetilmiş tavlama algoritmasının ateş böceği algoritmasının özel bir durumu olduğu görülebilir. Böylece, ateş böceği algoritmasının bu üç algoritmanın avantajlarına sahip olduğu söylenebilir [51, 52].

Bibliyometrik analiz bilimsel çıktıyı niceliksel olarak değerlendirmek için güvenilir bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, evrimsel hesaplama, metasezgisel yöntemler ve doğadan ilham alan algoritmalar kullanılarak sismik tasarıma sahip yapısal sistemlerin çok amaçlı optimizasyonu üzerine yapılan araştırmaların çıktılarına ilişkin değerlendirmeler bugüne kadar sınırlı kalmıştır. Çalışmanın bu bölümünün amacı, evrimsel hesaplama, metasezgisel yöntemler ve doğadan ilham alan algoritmalar kullanarak sismik tasarımlı yapısal sistemlerin çok amaçlı optimizasyonu üzerine dünya çapında yapılan araştırmaların gelişimine kapsamlı bir genel bakış sağlamaktır. Web of Science (WoS) ve Scopus veri tabanlarındaki 661 yayının bibliyometrik analizi, bu çalışma alanının 1986'daki ilk yayınlardan bu yana nasıl geliştiğini incelemek için yapılmıştır. Yapılan bibliyometrik analiz ile araştırmanın mevcut durumuna ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunulmuş olup, bu disiplinin son 38 yılda nasıl geliştiği farklı bakış açıları ile sunulmuştur. Bu araştırmalardaki, en sık kullanılan anahtar kelimeler ve en çok katkıda bulunan dergiler, makaleler ve yazarlar dahil olmak üzere pek çok yönden değerlendirme yapılmıştır.

4.1 Bibliyometrik Analiz

Bibliyometrik analiz, yararlı bilgi yapıları üretmek için dergileri veya yayınları nicel ve istatistiksel yöntemler kullanarak analiz etme sürecidir. Bu işlem bir dergi için tamamlandığında, derginin genel büyüme modeli, yayın kalitesi ve atıf yapısı hakkında etkili bir sonuca varılır [53]. Bibliyometrik analiz, 1960'lardaki kuruluşundan bu yana [54], hem yerel hem de dünya ölçeğinde çeşitli çalışma konularının bilimsel ilerlemesini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada veri toplama ve analiz için aşağıdaki prosedürler temel alınarak bibliyometrik analiz gerçekleştirilmiştir [55,56].

Şu anda en büyük ve en yaygın kullanılan bilimsel veritabanları olan Web of Science (WoS) ve Scopus veritabanları bibliyografik bilgi sağlamaktadır. WoS veri tabanındaki tüm orijinal makalelerin, derleme makalelerin, konferans bildirilerinin ve kitap bölümlerinin başlıklarında, özetlerinde veya anahtar kelimelerinde "enerji dağıtma cihazı" veya "sismik tasarım" ve "yapısal optimizasyon" veya "çok amaçlı optimizasyon" veya "metasezgisel" veya "sezgisel" veya "evrimsel" veya "doğadan ilham alan" terimleri aranmıştır. (Bu terimler İngilizce olarak "energy dissipation device " or "seismic design" and "structural optimization" or "multiobjective optimization" or "metaheuristic" or "heuristic" or "evolutionary" or "nature-inspired" biçiminde aranmıştır). Scopus veri tabanında, veri tabanlarındaki tüm orijinal makalelerin, derleme makalelerin, kitap bölümlerinin ve konferans bildirilerinin başlıklarında, özetlerinde veya anahtar kelimelerinde yukarıdaki aynı anahtar kelimeler kullanılarak arama yapılmıştır. Sorgu daha sonra 2024 yılına ait bibliyografik veriler eksik olduğu için 2024 yılından önce yayımlanan İngilizce çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Bu adımdan sonra WoS veri tabanında 201, SCOPUS veri tabanında ise 633 kayıt bulunmuştur. 120 mükerrer kayıt birleştirilmiş veri tabanından çıkarılmış ve kalan 708 yayın Biblioshiny platformunda tekrar filtrelenmiştir. Daha sonra, Biblioshiny aracı 661 makaleden oluşan nihai koleksiyonu değerlendirmek için kullanılmıştır (Şekil 4.1).



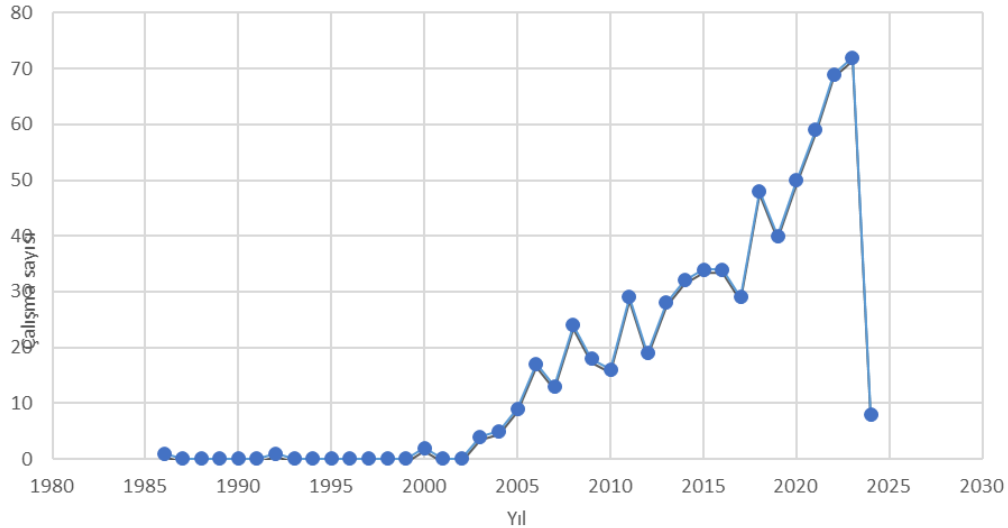
Şekil 4.1 Yayın seçim sürecinin akış şeması

4.2 Verilerin Analizi

Biblioshiny adlı açık kaynaklı bir uygulama kullanılarak bilimsel makalelerin kapsamlı bir bilim haritalama analizi yapılabilir. Bu aracın programlanması, esneklik, diğer grafik ve istatistiksel araçlarla entegrasyon kolaylığı ve hızlı yükseltme ve entegrasyon sunan R ortamında yapılmıştır. Bibliyometrik analiz için CitNetExplorer [57] ve VOSviewer [58] gibi başka programlar olsa da Biblioshiny, WoS ve Scopus veri tabanlarından elde edilen bibliyografik verileri birleştirme ve inceleme olanağı sunan tek programdır.

Yayın Koleksiyonu Hakkında Genel Bilgi

1986-2024 yılları arasında her yıl için yayın sayısı Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Araştırmanın temsil ettiği üç zaman dilimi 1986-2005, 2006-2015 ve 2016-2024'tür. Dolayısıyla, 1986-2005 yılları arasında 22, 2006-2019 yılları arasında 230 ve 2016-2020 yılları arasında 409 yayın bulunmaktadır. İkinci dönemdeki yayın sayısının ilk dönemin neredeyse 10 katı olması ve üçüncü dönemdeki yayın sayısının önceki dönemin neredeyse iki katı olması, araştırmanın son on yıldaki hızlı büyümesine işaret etmektedir. Üretilen 72 çalışma ile 2023 yılı en yüksek üretim seviyesine sahiptir. Evrimsel hesaplama, metasezgisel yöntemlerin ve doğadan ilham alan algoritmaların son on yıldaki gelişimi bu sonuca bağlanabilir.



Şekil 4.2 1986'dan 2024'e kadar, yayınlanan çalışmaların sayısı

Tablo 4.1, 661 yayından oluşan veri setinin ana verilerini göstermektedir. Koleksiyonun makale (n = 498) ve konferans bildirisi (n = 149) yüzdeleri sırasıyla

%75,34 ve %22,54'tür. Derleme makaleleri (n = 8) ve kitap bölümleri (n = 6) toplam koleksiyonun yalnızca %2,11'ini oluşturmaktadır. 256 farklı kaynak 661 yayın yayınlamıştır. Yayın koleksiyonunda 1209 yazar bulunmaktadır (Belge başına ortalama üç ortak yazarla). 40 tek yazarlı belge 28 tek yazar tarafından yayınlanmıştır.

Tablo 4.1 Koleksiyonun ana verileri

Açıklama	
Zaman Aralığı	1986-2024
Kaynaklar (Dergiler, Kitaplar etc)	256
Makaleler	498
Konferans Bildirileri	149
Kitap Bölümleri	6
İnceleme Makaleleri	8
Doküman başına ortalama atıf	15.21
Yazarlar	1209
Tek yazarlı dokümanların yazarları	28
Tek yazarlı dokümanlar	40
Belge başına ortak yazarlar	2,99
Uluslararası ortak yazarlıklar %	5.446

Tablo 4.2'de 1986-2024 yılları arasında evrimsel hesaplama, metasezgisel ve doğadan ilham alan algoritmalar kullanılarak sismik tasarıma sahip yapısal sistemlerin çok amaçlı optimizasyonu hakkında en fazla sayıda makale yayınlayan ilk dokuz dergi listelenmiştir. Tablodaki sıralama dergilerin h-indeks değerlerine göre yapılmıştır. Bunlar, Engineering Structures (yayın sayısı = 61), Earthquake Engineering and Structural Dynamics (yayın sayısı = 25), Soil Dynamics and Earthquake Engineering (yayın sayısı = 20), Structural and Multidisciplinary Optimization (yayın sayısı = 27), Journal of Constructional Steel Research (yayın sayısı = 12), Structural Design of Tall and Special Buildings (yayın sayısı = 13),

Structures (yayın sayısı = 17), Computers and Structures (yayın sayısı = 11) ve Engineering with Computers (yayın sayısı = 8). Ayrıca, en çok atıf alan dergiler Engineering Structures (atıf sayısı = 1598), Earthquake Engineering and Structural Dynamics (atıf sayısı = 1025) ve Soil Dynamics and Earthquake Engineering (atıf sayısı = 782) olduğunu göstermektedir. Sadece bir dergi, Engineering Structures, bu analiz sırasında 61 makale yayınlarken, altı dergi 20'den fazla makale yayınlamıştır. İlk 9 dergi toplamda 5124 atıf alarak tüm atıfların sadece %50,95'ini oluşturmuş ve toplamda 194 makale yayınlayarak koleksiyonun %33,10'unu oluşturmuştur.

Tablo 4.2 En çok makale yayınlanan ilk dokuz dergi en çok makale yayınlanan ilk dokuz dergi

Dergiler	h_index	Toplam atıf	Yayın sayısı
Engineering Structures	24	1598	61
Earthquake Engineering and Structural Dynamics	20	1025	25
Soil Dynamics and Earthquake Engineering	15	782	20
Structural and Multidisciplinary Optimization	14	669	27
Journal of Constructional Steel Research	9	298	12
Structural Design of Tall and Special Buildings	9	222	13
Structures	9	117	17
Computers and Structures	8	270	11
Engineering with Computers	8	143	8

Tablo 4.3, küresel olarak en çok atıf alan ilk on yayını ve diğer ayrıntılarını göstermektedir. Tablo 4.3' teki ilk makale [59], 200'den fazla atıf almış ve bina yapılarının sismik koruması için viskoz damperlerin tasarım stratejileri hakkında bir derleme makalesi yayınlamıştır. Ayarlanmış kütle sönümleyicilerin optimum parametrelerinin armoni araması kullanılarak tahmin edilmesini tartışan bir makale

198 atıfla ikinci sırada yer almaktadır [60]. Büyük kütle oranına sahip geleneksel olmayan bir ayarlı kütle sönümleyicinin dinamik davranışını ve sismik etkinliğini ele alan bir makale [61] ve yapısal optimizasyona uygulanan çok amaçlı metasezgiseller üzerine bir araştırma [62] 130'dan fazla atıf almıştır. Her ikisi de 120'den fazla atıf alan aşağıdaki iki çalışma, sismik enerjinin pasif olarak azaltılması için metalik akma cihazlarının şekil optimizasyonunu incelemiştir [63] ve düzlemsel bina yapılarının sismik rehabilitasyonu için optimum damper dağılımını sunmuştur [64]. Sonraki makaleler, yaşam döngüsü maliyetini dikkate alan çelik çerçeve binaların optimum sismik tasarımı [65] ve yaşam döngüsü maliyetini dikkate alan çelik yapıların performansa dayalı çok amaçlı optimum tasarımı [66] ile ilişkilidir. Durum, güvenlik ve yaşam döngüsü maliyetini dikkate alarak bozulan köprüler için çok amaçlı bakım planlama optimizasyonunu ele alan [67] ve bodrum katında TMD bulunan tabandan izole binaların depreme dayanıklı tasarımı ile ilgili bir vaka çalışmasına uygulama öneren [68] son iki makale 100'den fazla atıf almıştır.

Tablo 4.4, en üretken on akademisyeni ürettikleri makale sayısına göre sıralamaktadır. Bir araştırmacının birden fazla üniversite ile bağlantısı olabilese de, Tablo 4.4'te sunulan bilgiler en son yayınlarından derlenmiştir. Yunanistan'dan iki (28 makale ile Lagaros N. ve 26 makale ile Papadrakakis M.), İran'dan iki (25 makale ile Kaveh A. ve 17 makale ile Gholizadeh S.), Birleşik Krallık'tan bir (15 makale ile Hajirasouliha I.), Japonya'dan bir akademisyen bulunmaktadır. Japonya'dan bir (14 makale ile Ohsaki M.), İsrail'den bir (on üç makale ile Lavan O.), Kıbrıs'tan bir (13 makale ile Fragiadakis M.), Çin'den bir (10 makale ile Zou X.) ve ABD'den bir (dokuz makale ile Liu M.) akademisyen yer almaktadır. Toplam atıf sayısına göre Papadrakakis M. ilk sırada yer alırken (n = 519), onu Lagaros N. (n = 513) takip etmiştir. Tablo 4.4'teki diğer akademisyenlerin atıf sayıları 114 ile 470 arasında değişmektedir. Sonuç olarak, bu akademisyenlerin h-indeksleri 5 ile 13 arasındadır. Evrimsel hesaplama, metasezgisel algoritmalar ve doğadan esinlenen algoritmalar kullanarak sismik tasarıma sahip yapısal sistemler üzerine 1986'dan bu yana ilk araştırmacılar Lu S. ve Cheng Y.'dir; bu çalışmadan sonraki yayınlar 1992'de Parducci A. ve Mezzi M. tarafından yapılmıştır. Sonraki çalışmalar 2000'li yıllarda yoğunlaşmaya başlamıştır. Şekil 4.3, iki veya daha fazla yayın yapmış akademisyenlerin işbirliği ağını göstermektedir. Her düğüm bir yazarı

temsil etmektedir. Makale sayısı düğümlerin boyutunu belirlemekte ve düğümler arasındaki işbirliğinin derecesi onları birbirine bağlayan çizgilerle gösterilmektedir. İşbirliği yapan akademisyenler çeşitli renklerle kodlanır ve aynı kümeler içine yerleştirilir. Tablo 4.4 'te listelenen akademisyenler etrafında oluşturulan bir dizi gruplama tespit edilebilir. Lagaros N. ve Papadrakakis M. altı akademisyenden oluşan en büyük grubun merkezinde yer almaktadır. Tablo 4.4 ayrıca diğer grupların başka akademisyenler etrafında oluştuğunu da göstermektedir: kırmızı grup Hajirasouliha I.; turuncu grup Li Y.; yeşil grup Taflanidis A.; pembe grup Kaveh A. etrafında oluşmuştur. Geri kalan gruplarda son derece az sayıda yazar vardır ve sadece dört grupta üçten fazla akademisyen bulunmaktadır.

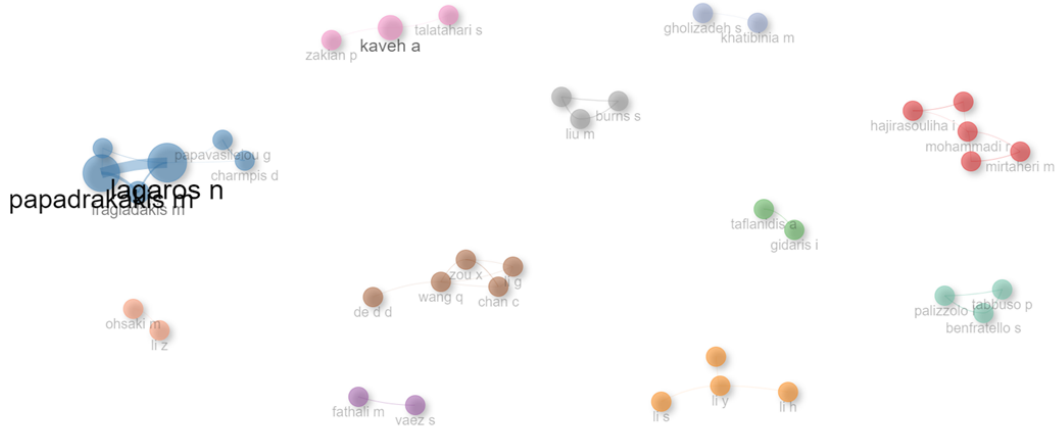


Tablo 4.3 Küresel olarak en çok atıf alan ilk on yayın ve diğer ayrıntıları

Başlık	Yazarlar	Kaynak	Yıl	Doküman Tipi	Toplam atıf	Yıllık ortalama atıf
Design strategies of viscous dampers for seismic protection of building structures: a review	D. De Domenico, G. Ricciardi, I. Takewaki	Soil Dynamics and Earthquake Engineering	2019	Article	212	42,40
Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search	Gebrail Bekdaş, Sinan Melih Nigdeli	Engineering Structures	2011	Article	198	15,23
Dynamic response and optimal design of structures with large mass ratio TMD	Maurizio De Angelis, Salvatore Perno, Anna Reggio	Earthquake Engineering & Structural Dynamics	2012	Article	176	14,67
A survey of multi-objective metaheuristics applied to structural optimization	Gustavo R. Zavala, Antonio J. Nebro, Francisco Luna & Carlos A. Coello Coello	Structural and Multidisciplinary Optimization	2014	Article	139	13,90
Shape optimization of metallic yielding devices for passive mitigation of seismic energy	Kazem Ghabraie, Ricky Chan, Xiaodong Huang, Yi Min Xie	Engineering Structures	2010	Article	124	8,86
Optimal damper distribution for seismic rehabilitation of planar building structures	E. Aydin, M.H. Boduroglu, D. Guney	Engineering Structures	2007	Article	121	7,12
Optimal seismic design of steel frame buildings based on life cycle cost considerations	Min Liu, Scott A. Burns, Y. K. Wen	Earthquake Engineering & Structural Dynamics	2003	Article	111	5,29
Performance-based multiobjective optimum design of steel structures considering life-cycle cost	Michalis Fragiadakis, Nikos D. Lagaros & Manolis Papadrakakis	Structural and Multidisciplinary Optimization	2006	Article	107	5,94
Multiobjective Maintenance Planning Optimization for Deteriorating Bridges Considering Condition, Safety, and Life-Cycle Cost	Min Liu, Dan M. Frangopol	Journal of Structural Engineering	2005	Article	104	5,47
Earthquake-resilient design of base isolated buildings with TMD at basement: Application to a case study	Dario De Domenico, Giuseppe Ricciardi	Soil Dynamics and Earthquake Engineering	2018	Article	104	17,33

Tablo 4.4 Yayın sayılarına göre en üretken ilk on akademisyenin sıralaması

Yazarlar	Ülkeler/ Bölgeler	h_index	Toplam Atıf	Yayın sayısı
Lagaros N	Greece	10	513	28
Papadrakakis M	Greece	10	519	26
Kaveh A	Iran	13	425	25
Gholizadeh S	Iran	11	426	17
Hajirasouliha I	United Kingdom	9	296	15
Ohsaki M	Japan	7	114	14
Lavan O	Israel	7	266	13
Fragiadakis M	Cyprus	5	311	13
Zou X	China	8	373	10
Liu M	USA	7	470	9



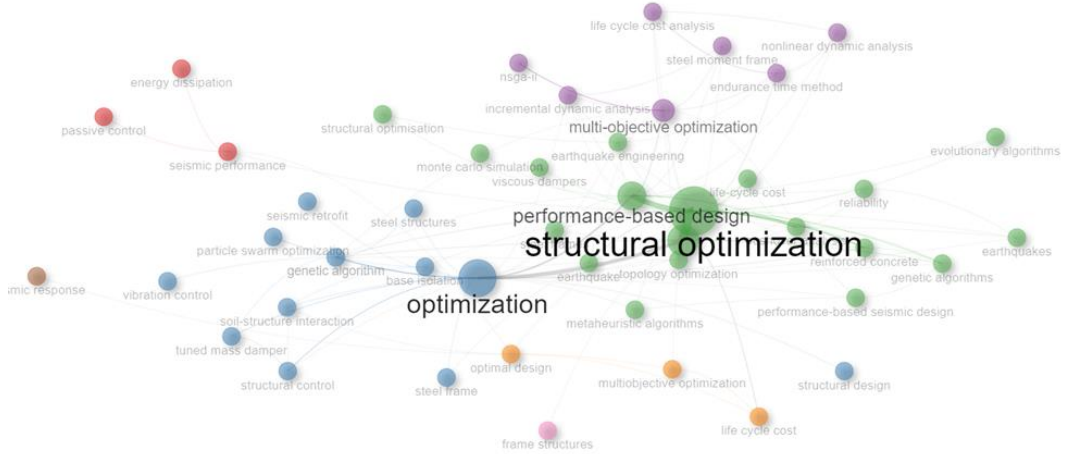
Şekil 4.3 İkiden fazla yayını olan bir işbirliği ağındaki 37 ortak yazar

Şekil 4.4, koleksiyondaki en sık kullanılan 100 yazar anahtar kelimesinin kelime bulutu analizini göstermektedir. Daha yüksek frekanslı anahtar kelimeler daha büyük bir yazı tipi boyutunda görüntülenir ve bulutların merkezlerine daha yakın konumlandırılır. Bu kelime bulutlarındaki daha büyük anahtar kelimeler, evrimsel hesaplama, metasezgisel yöntemler ve doğadan ilham alan algoritmalar kullanılarak sismik tasarıma sahip yapısal sistemlerin çok amaçlı optimizasyonu için daha önemli alanlara işaret etmektedir. En sık kullanılan anahtar kelime yapısal optimizasyon olup, bunu optimizasyon, sismik tasarım, performans dayalı tasarım ve çok amaçlı optimizasyon takip etmektedir. Genetik algoritma, sismik performans, optimum tasarım ve pushover analizi diğer önemli anahtar kelime terimleridir. Şekil 4.5, yazarın bu 100 anahtar kelimesinin eş-oluşum ağının daha kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Her düğüm bir anahtar kelimedir ve bir düğümün boyutu, bir terimin ne sıklıkta ortaya çıktığına karşılık gelir. Bu yazarların anahtar kelime terimleri beş farklı kategoride gruplandırılmıştır. Sismik tasarım, optimizasyon, meta sezgisel algoritmalar ve yapısal tasarıma odaklanan makaleler en büyük kümeyi (mor) oluşturmaktadır. İkinci küme (yeşil) yapısal optimizasyon, performans dayalı tasarım, deprem mühendisliği ve değerlendirme algoritmalarını tartışan makaleleri içermektedir. Üçüncü küme (kırmızı) dört anahtar kelimeye odaklanan makaleleri içermektedir; optimal tasarım, çok amaçlı optimizasyon, sismik tepki ve yaşam döngüsü maliyeti. Sismik performans, enerji dağıtımı ve pasif kontrol üzerine yoğunlaşan makaleler dördüncü kümede (mavi) yer

almaktadır. Son küme (turuncu) sadece bir anahtar kelime, çerçeve yapıları içermektedir.



Şekil 4.4 Kelime bulutları olarak en popüler 100 yazar anahtar kelimesi



Şekil 4.5 Popülerlikte ilk 100 yazar anahtar kelimesi için eş-oluşum ağı

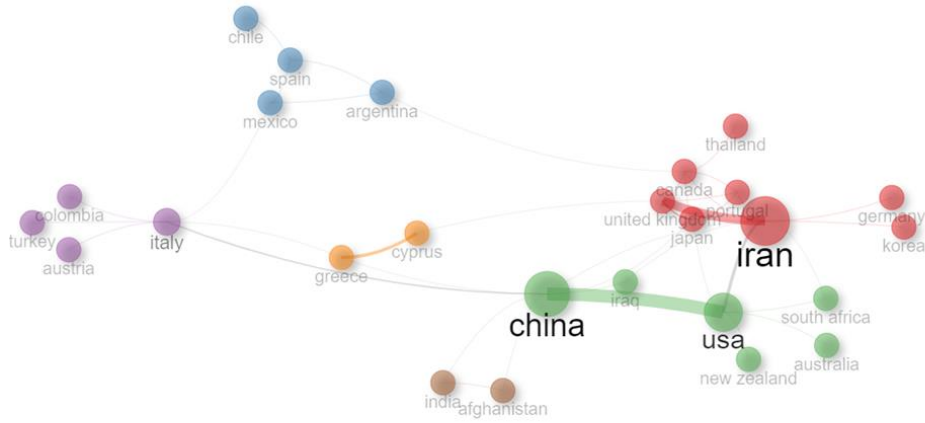
Tablo 4.5, yayın ve atıf miktarına göre en üretken ilk on ülkeyi listelemektedir. İlk sırada İran (n = 168), ardından Çin (n = 143) ve ABD (n = 110) yer almıştır.

Sırasıyla 54 ve 45 yayımla İtalya ve Yunanistan beşinci ve altıncı sırada yer almıştır. Her biri 18 ila 41 yayımla geri kalan beş ülke Japonya, Birleşik Krallık, Türkiye, Kore ve Kanada'dır. Atıf sayısına göre ABD ilk sırada yer alırken (n = 1814), onu İran (n = 1701), Çin (n = 1081) ve İtalya (n = 1028) takip etmiştir. Ardından sırasıyla 821 ve 586 atıfla Türkiye ve Yunanistan, ardından 522 ve 231 atıfla Birleşik Krallık ve Kanada gelmektedir. İspanya, İsrail, Kanada ve diğer üç ilk on ülke için sınırlı sayıda atıf bulunmaktadır.

Elde edebildiğimiz verilere göre, 46 ülkede evrimsel hesaplama, metasezgisel yöntemler ve doğadan ilham alan algoritmalar kullanılarak sismik tasarıma sahip yapısal sistemlerin çok amaçlı optimizasyonu hakkında makaleler yayınlanmıştır. Şekil 4.6, 26 ortak ülkeden oluşan ülkeler arası işbirliği ağını göstermektedir. Şekil 4.6'da her düğüm bir ülkeyi temsil etmektedir. Düğümlerin boyutları yayın sayısını temsil etmekte ve ülkeler arası işbirliği düzeyi düğümleri birbirine bağlayan çizgilerin kalınlığı ile gösterilmektedir. Altı farklı küme bulunabilir. İran, Almanya, Kore ve diğer beş ülke (Kanada, Tayland, Birleşik Krallık, Japonya ve Portekiz) en büyük grubu (kırmızı) oluşturmaktadır. Altı ülke, Çin'in merkezde olduğu ikinci kümeyi (yeşil) oluşturmaktadır. Üçüncü grupta Türkiye, İtalya, Avusturya ve Kolombiya (mor) yer alırken, dördüncü grupta (mavi) Arjantin, Meksika, İspanya ve Şili bulunmaktadır. Son iki küme olan Kıbrıs ve Yunanistan ile Hindistan ve Afganistan'ın sırasıyla sadece iki ortağı bulunmaktadır. Tablo 4.4'de bulunmayan ancak Şekil 4.6'da yer alan birkaç ülke Şili, İspanya, Meksika, Arjantin, Kolombiya, Kıbrıs ve Avusturya'dır. Bu ülkelerin bu alanda diğer ülkelerle uluslararası işbirlikleri olduğu için en çok üretim yapan ilk 10 ülke arasında yer almamaktadırlar.

Tablo 4.5 Yayınlar ve atıflar açısından çıktı konusunda ilk on ülkenin sıralaması

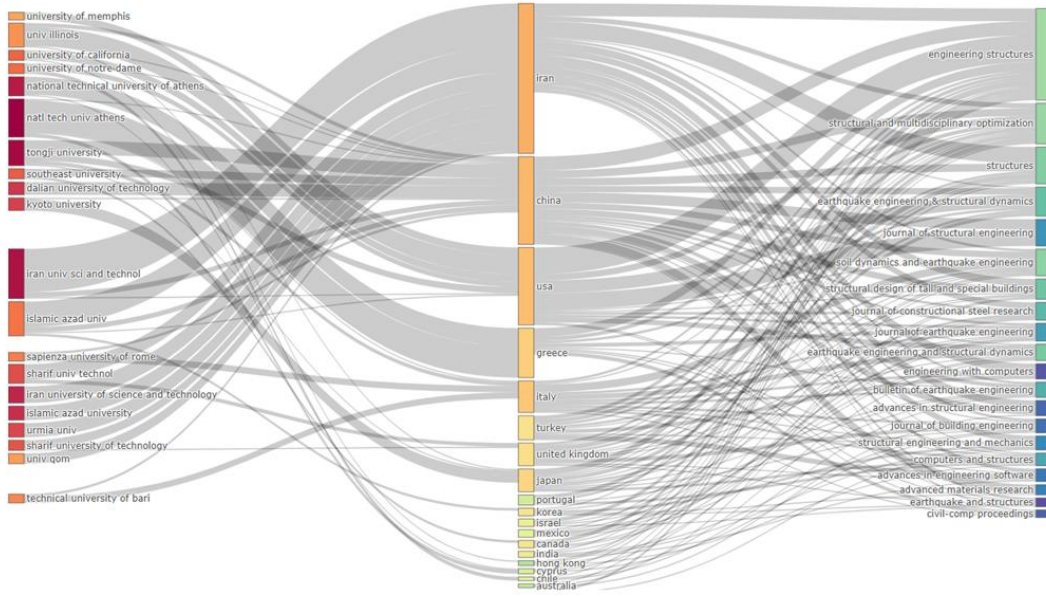
Ülke	Toplam Yayın	%	Toplam Atıf	%
İran	168	25.30	1701 (#2)	20.97
Çin	143	21.53	1081 (#3)	13.33
ABD	110	16.56	1814 (#1)	22.37
İtalya	54	8.13	1028 (#4)	12.67
Yunanistan	45	6.77	586 (#6)	7.22
Japonya	41	6.17	150 (#10)	1.85
İngiltere	33	4.96	522 (#7)	6.43
Türkiye	28	4.21	821 (#5)	10.12
Kore	24	3.61	174 (#9)	2.14
Kanada	18	2.71	231 (#8)	2.84



Şekil 4.6 Sınır ötesi işbirliği yapan ortaklar olan 26 ülkeden oluşan ağ

Şekil 4.7'de ülkeler, kurumlar ve dergiler arasındaki ilişkileri gösteren Sankey diyagramına dayalı üç alanlı bir çizim gösterilmektedir. İşbirliği ağı içinde, dikdörtgen düğümlerin yüksekliği, bir ülkenin, üniversitenin veya yayının ne sıklıkta görüldüğüne karşılık gelmektedir. Bağlantı sayısı, düğümleri birbirine bağlayan çizgilerin genişliği ile doğrudan ilişkilidir. Şekle göre, en çok bağlantıya

sahip ülke İran olurken, onu Çin ve ABD takip etmektedir. İran'da en fazla katkı sağlayan kurum İran Bilim ve Teknoloji Üniversitesi olurken, onu İslami Azad Üniversitesi takip etmiştir. Çin'de ise Tongji Üniversitesi en çok katkı sağlayan kurum olurken, onu Güneydoğu Üniversitesi takip etti. Sağdaki dergilere göre, ABD ve Çin Engineering Structures dergisine en fazla katkıda bulunan iki ülke olmuştur. Ayrıca, Çin ve ABD, Structural and Multidisciplinary Optimization dergisine katkıda bulunan ilk iki ülke oldu.



Şekil 4.7 Solda kurumların, ortada ülkelerin ve sağda dergilerin yer aldığı ağı gösteren üç alanlı bir diyagram

5.1 Matematiksel Model

Sismik enerjinin dağıtılması inşaat mühendisliğindeki önemli konulardan biridir. Bu kapsamda, sismik enerjinin bir kısmının yapısal elemanlar yerine yapay elemanlar tarafından dağıtılması durumu ele alınmaktadır. Enerji dağıtıcı çelik yastıklar, bu amaçla tasarlanan kararlı histeretik döngülere ve büyük yer değiştirme kapasitesine sahip, üretimi kolay ve tak-çalıştır sönmüleyicilerden biridir [69].

Literatürdeki bazı çalışmalarda çelik yastıkların transversal (enine) doğrultuda daha az etkili olduğu belirtilmiştir [70, 71]. Güllü ve arkadaşları çalışmalarında çeşitli optimizasyon teknikleri ile optimal boyutlandırma yapılarak damperin verimliliğinin arttırıldığını göstermiştir [69]. Bu çalışmadan farklı olarak bu tezde optimizasyon problemi tek amaçlı bir problem olarak modellenecek ve çözüm aşamasında genetik algoritma, benzetilmiş tavlama algoritması, parçacık sürü algoritması ve ateş böceği algoritması kullanılacaktır. Kullanılan damperin kapalı form denklemleri literatürde mevcut olduğundan, oluşturulacak optimizasyon probleminde bu model kullanılacaktır. Oluşturulacak optimizasyon problemi belirli kısıtlara tabi bir bir optimal boyutlandırma problem olarak ele alınacaktır.

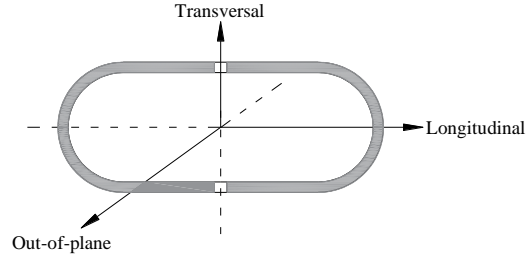
Kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen sonuçlarla, bulunan geometrik oran sonuçları değerlendirilecektir. Optimal boyutlardaki çelik yastıkların enerji dağıtımı açısından daha üstün olduğu, inşaat mühendisliğinde alanında kullanılan çeşitli analizlerde gösterilmiştir [69].

Çelik levhaların bükülmesiyle üretilen çelik yastıklar, yumuşak çeliğin sünek özelliklerini kullanarak ve sabit yüzeyler arasındaki göreceli yer değiştirme yoluyla sismik enerjiyi dağıtır. Geometrisi iki yarım daire ve aralarındaki düz kısımlardan oluşur (Şekil 5.1.a.). Çelik yastıklar üzerindeki transversal yükleme tipi Şekil 5.1.b de gösterilmiştir.

Cıvatalar yükleme sırasında orijinal konumlarıyla aynı dikey kesitte kalıyorsa, bu bir enine yük olarak kabul edilir. Enine yük basınç veya çekme olabilir. Yükleme



a. Genel görünüm



b. Yükleme yönleri.

Şekil 5.1 Çelik yastıklar üzerindeki transversal yükleme [69]

türüne bağlı olarak, SC'nin histeretik davranışı farklılık gösterebilir. Bağlantı detayına bağlı olarak, çelik yastıklar boylamasına veya enine deformasyonlara maruz kalabilir. Çelik yastıkların kullanılması durumunda perde duvarların/panellerin altında, duvarın/panelin sallanma davranışı çelik yastıkların üzerinde enine deformasyonlara neden olacaktır. Çelik yastıklar boyuna yönde daha yüksek bir sönümleme oranına sahip olsa da, enine yönde de verimliliği artırılabilir. Bu iyileştirme, yayılan kümülatif enerjiyi bir amaç olarak dikkate alan optimal boyutlandırma ile sağlanabilir.

Enine yüklerin etkisi altında çelik yastıkların histeretik davranışını belirlemek için gerekli denklemler eşitlik (5.1)-(5.8)'de verilmiştir.

Denklemlerde; a düz parçanın yarı uzunluğu, b ise genişliğidir, r yarım dairenin yarıçapı, t çelik saçın kalınlığı, D_n somunların çapı, φ düşey eksen ile yarım daire üzerindeki herhangi bir nokta arasındaki açı, f_{yd} ve f_{ud} temel malzemenin akma ve nihai dayanımları ve N enine kuvvettir. Ek olarak, pozitif N değerleri sıkıştırma kuvveti olarak kabul edilir.

$$\text{Moment } (M) \quad M(\varphi) = \frac{N}{2} \left(\frac{2r^2 - a^2}{\pi r + 2a} - r \sin \varphi \right) \quad (5.1)$$

$$\text{Ekstremum momentin konumu } (\varphi_{ext}) \quad \varphi_{ext} = \frac{\pi}{2} \quad (5.2)$$

$$\text{Sıkıştırma altında dikey dağılım } (\delta_{v,c}) \quad \delta_{v,c} = \frac{Nr}{2EI} \left(\frac{\pi a^3 + 8a^2r + 2\pi ar + \{\pi^2 - 8\}r^3}{2\{2a + \pi r\}} \right) \quad (5.3)$$

$$\text{Sıkıştırıcı akma kuvveti } (N_{y,c}) \quad N_{y,c} = f_{yd} \frac{bt^2}{4} \quad (5.4)$$

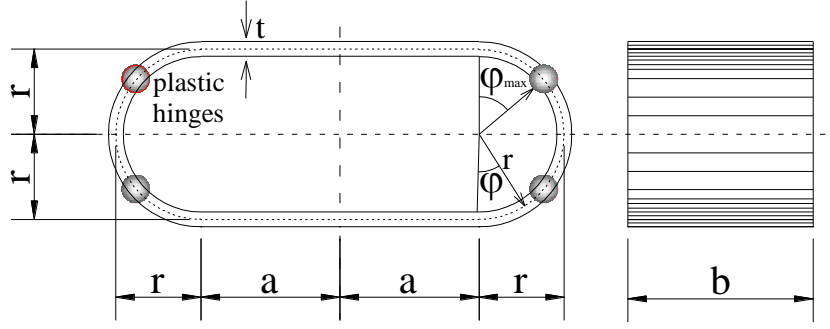
$$\text{Sıkıştırıcı nihai kuvvet } (N_{u,c}) \quad N_{u,c} = f_{ud} \frac{bt^2}{4} \quad (5.5)$$

$$\text{Gerilim altında dikey dağılım } (\delta_{v,t}) \quad \delta_{v,t} = \frac{Nr}{EI} \left(\frac{\pi a^3 + 8a^2r + 2\pi ar + \{\pi^2 - 8\}r^3}{2\{2a + \pi r\}} \right) \quad (5.6)$$

$$\text{Gerilme akma kuvveti } (N_{y,t}) \quad N_{y,t} = f_{yd} \frac{bt^2}{4} \times \frac{D_n}{2a} \quad (5.7)$$

$$\text{Sıkıştırıcı nihai kuvvet } (N_{u,t}) \quad N_{u,t} = f_{ud} \frac{bt^2}{4} \times \frac{D_n}{2a} \quad (5.8)$$

Bu çalışmada, optimal çelik yastığın boyutlarını bulmak için bir optimizasyon modeli sunulmuştur. Çalışma değişkenleri düz parçanın yarı uzunluğu (a), genişliği (b), kalınlığı (t) ve yarım dairenin yarıçapıdır (r) lerdir (Şekil 5.2). Dağıtılan kümülatif plastik enerjiyi maksimize etmeyi amaçlayan bir amaç fonksiyonu dikkate alınmıştır.



Şekil 5.2 Çelik yastık modeli [69]

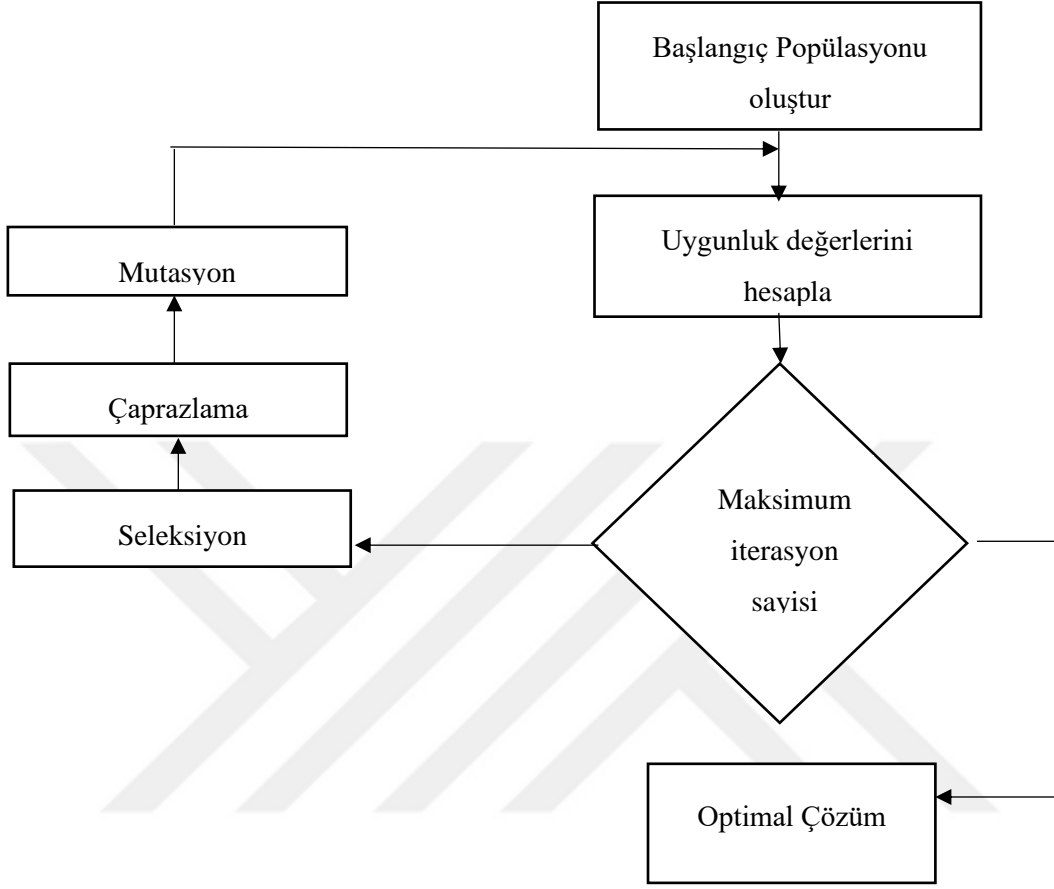
Optimal boyutlandırma, Eşitlik (5.9)'u minimize eden ve Eşitlik (5.1-5.8) ile verilen eşitlik kısıtlamalarını karşılayan tasarım değişkenlerinin bulunmasıyla elde edilecektir.

$$E = \frac{N_{y,t} + N_{u,t}}{2} (\delta_{max,t} - \frac{N_{y,t}}{N_{u,t}} \delta_{v,t}) \quad (5.9)$$

Dağıtılan kümülatif enerjiyi maksimize etmeyi amaçlayan optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu Eşitlik (5.9) ile verilmiştir.

5.2 Optimizasyon Tekniklerinin Uygulanması

5.2.1 Sayısal Model-Genetik Algoritma



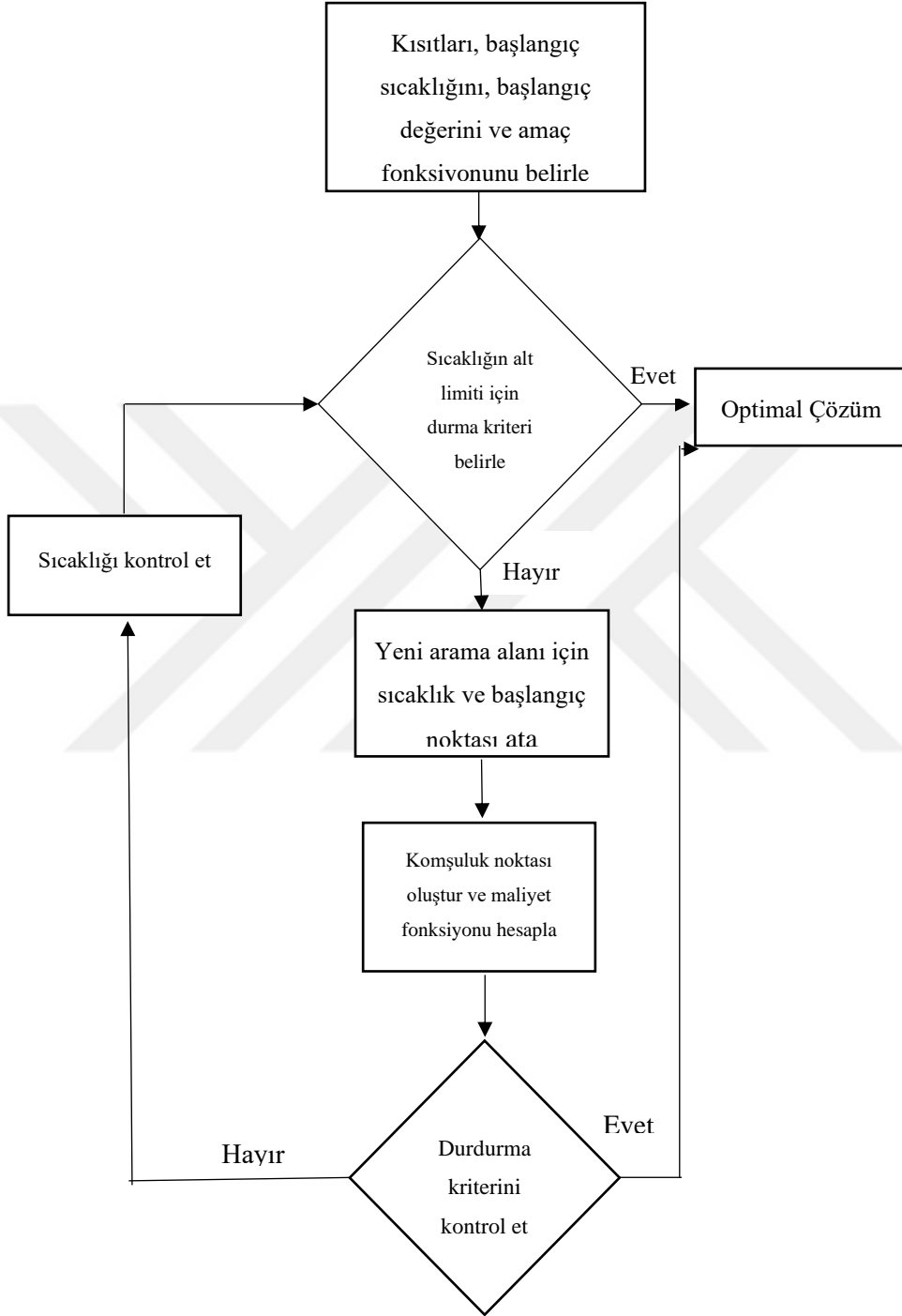
Şekil 5.3 Genetik algoritma akış şeması [72]

MATLAB programı yardımıyla genetik algoritma kullanılarak, denklem (5.1)-(5.9)'daki fonksiyonları optimize edilmiştir. Tezdeki problemimize uyarladığımız genetik algoritma MATWORKS resmi web sitesinde yer alan genetik algoritma yardımıyla optimizasyonu sağlayan örneklerden faydalanarak oluşturulmuştur.

Tablo 5.1 GA ile optimize edilmiş çelik yastık modelinin boyutları

Kullanılan algoritma	a	b	t	r
GA(E)	2.00 mm	30.00 mm	5.00 mm	0.66 mm

5.2.2 Sayısal Model-Benzetilmiş Tavlama Algoritması



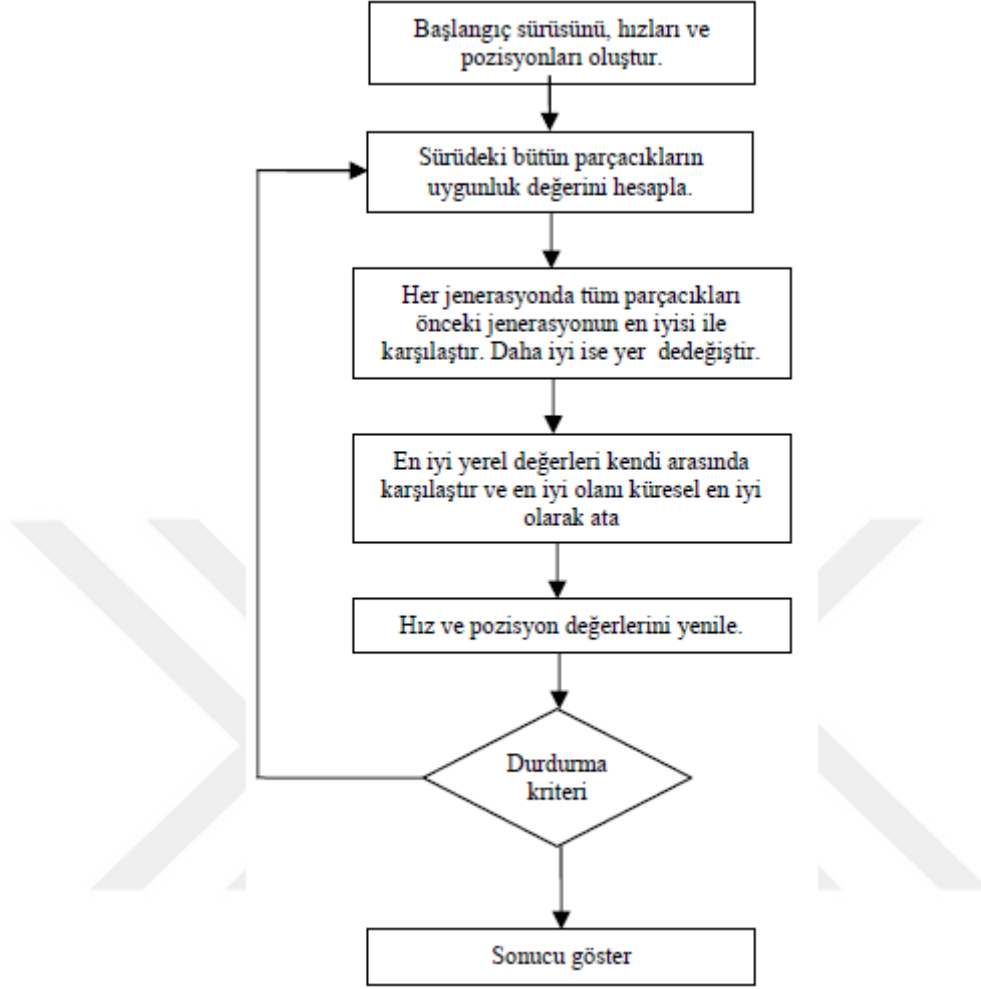
Şekil 5.4 Benzetilmiş Tavlama Algoritmasının Akış Şeması [44]

MATLAB programı yardımıyla benzetilmiş tavlama algoritması kullanılarak, denklem (5.1)-(5.9)'daki fonksiyonları optimize edilmiştir. Başlangıç sıcaklığı olarak $T_0 = 1.0$, son sıcaklık olarak $t_f = 10^{-10}$ ve soğutma hızı olarak $\alpha = 0.8$ olan geometrik bir soğutma planı seçilmiştir. Tezdeki problemimize uyarladığımız benzetilmiş tavlama algoritması ile ilgili kodlar Xin-She Yangn tarafından yazılan, “Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications” adlı kitaptaki Ek B'de yer alan kodlar yardımıyla oluşturulmuştur [32].

Tablo 5.2 Benzetilmiş tavlama algoritması ile optimize edilmiş çelik yastık modelinin boyutları

Kullanılan algoritma	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>r</i>
<i>BT(E)</i>	2.00 mm	30.00 mm	5.00 mm	0.66 mm

5.2.4 Sayısal Model- Parçacık Sürü Algoritması



Şekil 5.5 PSO akış diyagramı [50]

Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması parametreleri

- Atalet ağırlığı: 0.9 ila 0.4,
- Popülasyon büyüklüğü = 100,
- Maksimum adım sayısı= 1000,
- Öğrenme veya hızlanma katsayıları olarak ifade edilen, $c_1 = 2$, $c_2 = 2$,
- Dört bilinmeyen için parametre boyutu $d = 4$,
- $L_B = [2 \ 2 \ 0.1 \ 2/3]$,
- $U_B = [30 \ 30 \ 5 \ 20]$

olarak belirlenmiştir.

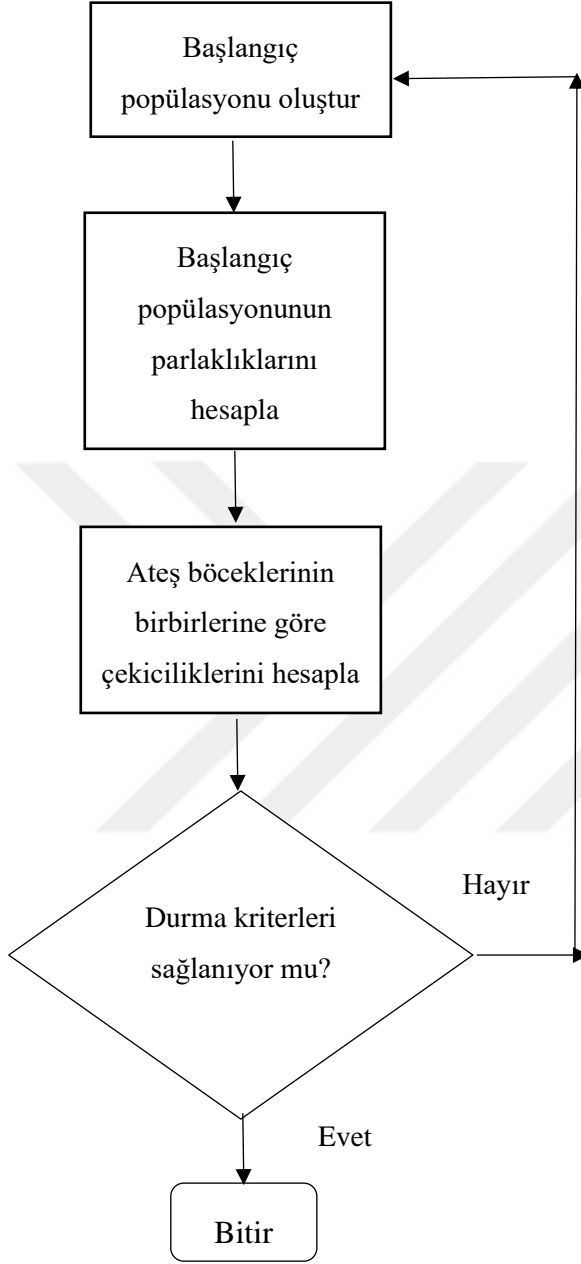
Tablo 5.3 Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile optimize edilmiş çelik yastık modelinin boyutları

Optimizasyon algoritması	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>r</i>
<i>PSO(E)</i>	2.00 mm	30.00 mm	5.00 mm	0.66 mm



5.2.5 Sayısal Model-Ateş Böceği Algoritması

Ateş böceği algoritmasının akış diyagramı şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Ateş böceği algoritmasının akış diyagramı [51]

Ateş Böceği Algoritması parametreleri

- Mutasyon katsayısı = 0.5,
- Popülasyon sayısı= 100,
- Çekicilik katsayısı temel değişkeni, $\beta = 0.2$,
- Işık emilim katsayısı $\gamma = 1$,

- Maksimum adım sayısı= 1000,
- Parametre boyutu, $d = 4$,
- $L_B = [2 \ 2 \ 0.1 \ 2]$,
- $U_B = [30 \ 30 \ 5 \ 20]$,
- $\theta_0 = [7.5 \ 10 \ 0.8 \ 5]$

olarak belirlenmiştir. Problemimize uyarladığımız benzetilmiş tavlama algoritması ile ilgili kodlar Xin-She Yangn tarafından yazılan, “Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications” adlı kitaptaki Ek B'de yer alan kodlar yardımıyla oluşturulmuştur [32].

Tablo 5.4 Ateş böceği algoritması ile optimize edilmiş çelik yastık modelinin boyutları

Kullanılan algoritma	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>r</i>
<i>FA(E)</i>	2.00 mm	30.00 mm	5.00 mm	0.66 mm

Genetik algoritma, benzetilmiş tavlama algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve ateş böceği algoritmalarından elde edilen değerler ve literatürdeki daha önce yapılan çalışmalarda yer alan değerler ele alındığında sonuçların birbirini doğrular nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır. Matematik mühendisliği anabilim dalında yapılan bu tez çalışmasında elde edilen bu değerlerin yapısal çalışma alanlarında yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak verilmesi elde edilen değerlerin doğruluğunu kontrol etme açısından oldukça önemlidir. Tez çalışmasına başlarken bu şekilde bir matematiksel model seçilmesinin önemi burada karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca uygulamalı matematiğin diğer alanlardaki uygulama alanı olarak bu tarz çalışmaların yapılması disiplinlerarası çalışmalar için de oldukça önemlidir.

Bir binanın deprem sırasında yer hareketlerine dayanabilmesini ve amaçlanan işlevini yerine getirebilmesini sağlamak için sismik tasarım önemli bir yapısal araştırma sürecidir. Sismik enerjinin dağıtılması konusu gerçek yaşam durumları ile ilgili oldukça önemli olduğundan birçok bilim alanının çalışma alanına girmektedir. Özellikle yapı tasarımı konularında ve sonrasında geliştirilmesi ile ilgili olarak diğer interdisipliner bölümlerde yer almaktadır. Bu tez bağlamında incelediğimizde sismik enerjiyi verimli bir şekilde dağıtan çeşitli sönümleyicileri içeren çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda yer alan enerji dağıtıcı çeşitli elemanları içeren literatürdeki çalışmalara literatür araştırması kısmında yer verilmiştir. Yapı dinamikleri alanlarında yer alan bu konular incelendiğinde verimliliğini artırma bağlamında uygulamalı matematik alanına giren çeşitli çalışmaların var olduğu incelenmiştir. Enerji dağıtıcı elemanların matematiksel modellerinin yer aldığı çalışmalar var olduğu gibi elde edilen matematiksel modellerin optimize edildiği çeşitli çalışmaların var olduğu görülmüştür.

Optimizasyon konusu matematiğin pek çok alt alanında oldukça yoğun biçimde çalışılan bir disiplindir. Geleneksel yöntemlerle yapılan optimasyon çalışmalarının yanında son zamanlarda daha popülerliği artan yeni optimizasyon tekniklerinin yer aldığı çalışmalar da incelenmiştir. Bu inceleme kısmında literatürde yer alan ve uluslararası çalışmalar için önemli indeksleri içeren veritabanları seçilmiştir. Son zamanlarda daha fazla çalışma alanı bulan meta-sezgisel algoritmalar ve doğadan ilham alan algoritmalar, evrimsel algoritmalar konularına yoğunlaşmıştır. Bu konular ve yapısal tasarımda ele alınacak enerji sönümleyici elemanları içerecek şekilde bir araştırma yapılması planlanmıştır.

Bu bağlamda, öncelikle Web of Science (WoS) ve Scopus veritabanlarında yayınlanan, evrimsel hesaplama ve doğadan ilham alan algoritmalar kullanılarak sismik tasarımlı yapısal sistemlerin optimizasyonu ile ilgili 653 yayının

bibliyometrik analizi yapılmıştır. Bu analiz sayesinde 1986'daki ilk yayınlardan bu yana alanın nasıl geliştiği incelenmiştir.

Bu tür bir analiz literatürde yer almamaktadır ve bu alanda daha fazla araştırma yapmak isteyen akademisyenlere yardımcı niceliksel veriler sağlayacaktır. Bu tür incelemeler, çeşitli metodolojiler (konu haritalama teknikleri, içerik analizi veya alıntı ağı analizi gibi) kullanılarak gerçekleştirilebilir; bunlardan biri, yapıya ve içeriğe dayalı olarak bilimsel faaliyetlerle ilgili niceliksel araştırmalar için yararlı olan bibliyometrik analizdir. Bibliyometrik analizden toplanan veriler şu bilgileri sunmaktadır:

- (i) yayınların yıllık büyüme oranı ve aldığı alıntılarının sayısı,
- (ii) işbirliği yapan ve yayın yapan en üretken ülkeler ve akademisyenler
- (iii) alanda en iyi bilinen dergiler
- (iv) en çok alıntı yapılan makaleler ve
- (v) en önemli araştırma konuları.

Sismik girdi enerjisinin bir kısmının enerji tüketen cihazlarla dağıtılması ve bu yapı elemanlarının optimizasyonu, depreme dayanıklı hale getirilmek istenen yapılar için oldukça önemlidir. Bu amaçla kullanılan enerji sönümleyici elemanlardan olan çelik yastıklar tez kapsamında ele alınmıştır. Bu çelik yastıkların tezde uygulanan optimizasyon teknikleri dışında farklı tekniklerle optimizasyonu konusunda literatürde bir çalışma yer almaktadır. Ancak bu çalışma birden fazla optimizasyon amacını içeren bir çalışmadır. Bunun yanına elde edilen optimizasyon sonuçlarının verilerinde elde edilen değerler yardımıyla farklı yapısal analizlere yer verilmiştir. Bu tezde genetik algoritma, benzetilmiş tavlama algoritması, parçacık sürü algoritması ve ateş böceği algoritması probleme uygulanacak meta-sezgisel, doğadan esinlenen algoritmalar olarak belirlenmiştir. Bahsedilen çelik yastıkların boyutsal optimizasyonu sonucunda elde edilen geometrik oranlar sunulmuştur. Bu geometrik oranların ve boyutların değerlendirilmesi aşamasında zorlu optimizasyon problemlerini çözmede bahsedilen modern eğilimlerden olan meta-sezgisel, doğadan esinlenen algoritmaların kullanımı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran özelliği olarak görülebilir.

Tezde yer alan optimizasyon problemi birden fazla değişken içeren (4 değişken) ve kısıt içeren bir problem olduğundan MATLAB programı kullanılarak elde edilen sonuçlar için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Genetik algoritma için MATLAB Programında var olan hazır toolbox lardan yararlanılmıştır. Bu toolbox ların kullanımına uygun olup problemimizi çözecek şekilde fonksiyon ve kısıt m-dosyaları hazırlanmıştır. Benzetilmif tavlama algoritması ve ateş böceği algoritmaları için “Mühendislik Optimizasyonu: An Introduction with Metaheuristic Applications” kitabında yer alan algoritmalarından yararlanılmış ve tezdeki optimizasyon problemine uygun olacak şekilde düzenlemeler yapılarak çeşitli fonksiyon m-dosyaları ile çalışılmıştır. Parçacık sürü algoritması için de Mathworks web sitesinde yer alan MATLAB kodları ve algoritmaların anlatıldığı kısımda yer alan temel kaynaklardan yararlanılmıştır.

Genetik algoritma, benzetilmif tavlama algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve ateş böceği algoritmaların temel aşamaları ve uygulamaları sonucunda elde edilen değerler tablolar halinde sunulmuştur. Elde edilen değerler ve literatürdeki daha önce yapılan çalışmalarda yer alan değerler ele alındığında sonuçların birbirini doğrular nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır.

- [1] X. S. Yang, *Optimization Techniques And Applications with Examples*. John Wiley and Sons, 2018.
- [2] E. Elbeltagi, T. Hegazy, D. Grierson, “Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms”, *Advanced engineering informatics*, vol. 19, pp. 43-53, 2005.
- [3] G. Jin, T. Tran. “A nature-inspired evolutionary algorithm based on spiral movements”, in *Proceedings of SICE Annual Conference 2010*, 2010, pp.1643-1647.
- [4] V. Shim, K. Tan and H. Tang, “Adaptive memetic computing for evolutionary multiobjective optimization”. *IEEE Transactions on cybernetics*, vol. 45, pp. 610-621, 2015.
- [5] Y. Zheng, “Water wave optimization: A new nature-inspired metaheuristic.” *Computers and Operations research*, vol. 55, pp. 1-11, 2015.
- [6] F. Karadogan, E. Yüksel, A. Khajehdehi, H. Ozkaynak, A. Güllü, E. Senol, “Cyclic behavior of reinforced concrete cladding panels connected with energy dissipative steel cushions”, *Engineering structures*, vol. 189, pp. 423–39, 2019.
- [7] S. Yang, Y. Lin, D. Guan, H. Ge, Z. Guo, H. Yang, W. Liu. “Novel hierarchical energy dissipation systems for seismic protection of buildings”, *Journal of earthquake engineering*, vol. 27, pp.1 – 32, 2023.
- [8] N. Chukka, M. Krishnamurthy. “Seismic performance assessment of structure with hybrid passive energy dissipation device.” *Structures*, vol. 27, pp.1246-1259, 2020.
- [9] S. Raheem, T. Hayashikawa. “Energy dissipation system for earthquake protection of cable-stayed bridge towers”, *Earthquakes and structures*, vol. 5, pp. 657-678, 2013.
- [10] N. Shaban, A. Caner, “Prototype testing of a new passive energy dissipation device for seismic retrofit of bridges”, *Frontiers in built environment*, vol. 2, pp. 1-7, 2016.
- [11] I. Aiken, D. Nims, J. Kelly. “Comparative study of four passive energy dissipation systems”, *Bulletin of the New Zealand National Society for earthquake engineering*, vol. 25, pp.175-192, 1992.
- [12] I. Aiken, D. Nims, A. Whittaker, J. Kelly. “Testing of Passive Energy Dissipation Systems”, *Earthquake Spectra*, vol. 9, pp. 335 – 370, 1993.
- [13] D. Piedrafita, X. Cahís, E. Simon, J. Comas, “A new modular buckling restrained brace for seismic resistant buildings.” *Engineering structures*, vol. 56, pp. 1967-1975, 2013.

- [14] J. Franco, X. Cahís, L. Gracia, F. López. “Experimental testing of a new anti-seismic dissipator energy device based on the plasticity of metals”, Engineering structures, vol. 32, pp. 2672-2682, 2010.
- [15] K. BehkamRad, M. Azizi, “Experimental and analytical investigations of a novel energy dissipation device for seismic protection of engineering structures”, Structures, vol. 34, pp. 1201-1211, 2021.
- [16] K. Tsai, H. Chen, C. Hong, Y. Su. “Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction.” Earthquake spectra, vol. 9, pp. 505 – 528, 1993.
- [17] A. Whittaker, V. Bertero, C. Thompson, L. Alonso, “Seismic Testing of Steel Plate Energy Dissipation Devices.” Earthquake Spectra, vol. 7, pp. 563 – 604, 1991.
- [18] C. Perry, E. Fierro, H. Sedarat, R. Scholl, “Seismic upgrade in san francisco using energy dissipation devices”.,Earthquake spectra, vol. 9, pp. 559 – 579, 1993.
- [19] M. Tehranizadeh, “Passive energy dissipation device for typical steel frame building in Iran”, 2001, Engineering structures, vol. 23, pp. 643-655, 1991.
- [20] A. Rana, G. Gupta, P. Vaidya, W. Salehi, S. Basheer, M. Bhatia, “Techniques Based on Metaheuristics Combined with an Adaptive Neurofuzzy System and Seismic Sensors for the Prediction of Earthquakes”, Journal of sensors, vol. 2023, pp.1-14, 2023.
- [21] K. Choi, H. Lee, S. Cho, I. Lee. “Modified energy dissipation algorithm for seismic structures using magnetorheological damper”, KSCE Journal of civil engineering, vol. 11, pp.121-126, 2007.
- [22] O. Lavan, G. Dargush. “Multi-objective evolutionary seismic design with passive energy dissipation systems”, Journal of earthquake engineering, vol. 13, pp.758 – 790, 2009.
- [23] M. Torres, S. Ruiz. “Design algorithm based on probabilistic seismic demands for buildings rehabilitated with hysteretic energy-dissipating devices”, Earthquake spectra, vol. 20, pp. 503 – 521, 2004.
- [24] Britannica, <https://www.britannica.com/science/optimization/Theory>, 02.07.2024.
- [25] Wikipedia-Mathematical https://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_optimization, 02.07.2024
- [26] H. G. Koçer, “Büyük ölçekli optimizasyon problemlerinin çözümünde yeni yaklaşımlar”, Doktora Tezi, 2015.
- [27] W. W. Leontief, “Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States”, The review of economic statistics, vol. 18, pp. 105-125, 1936.
- [28] G. B. Dantzig, “Origins of the simplex method”, A history of scientific computing, pp. 141-151, 1990.
- [29] L. E. Schrage, Optimization modeling with LINGO, Lindo System, 2006.

- [30] Ş. Özken, Yöneylem Araştırması, Nicel Karar Teknikleri. Nobel Yayın, 2005.
- [31] S. Koziel, X. S. Yang, (Eds.), Computational optimization, methods and algorithms, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- [32] X. S. Yang, Engineering optimization: An introduction with metaheuristic applications. John Wiley and Sons, 2010.
- [33] X. S. Yang, Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. Bristol, UK: Luniver Press, 2008.
- [34] X. S. Yang, “Metaheuristic optimization”, Scholarpedia, vol. 6, 11472, 2011.
- [35] X. S. Yang, S. Deb, “Two-stage eagle strategy with differential evolution”, International journal of bio-inspired computation, vol. 4, pp. 1–5, 2012.
- [36] X. S. Yang, Z. Cui, R. Xiao, A. H. Gandomi, M. Karamanoglu (Eds), Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation: Theory and Applications, London: Elsevier, 2013.
- [37] X. S. Yang, Nature-inspired optimization algorithms. London: Elsevier Insight, 2014.
- [38] X. S. Yang, S.F. Chien, T.O. Ting, Bio-inspired computation in telecommunications. Waltham: Morgan Kaufmann, 2015.
- [39] X. S. Yang, J. P. Papa, Bio-inspired computation and applications in image processing. London: Academic Press, 2016.
- [40] D. E. Goldberg, Genetic algorithms in search, optimisation and machine learning. Reading, MA: Addison Wesley, 1989.
- [41] J. Holland, Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
- [42] P. Judea, Heuristics. New York: Addison-Wesley, 1984.
- [43] J. R. Koza, Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- [44] S. Kirkpatrick, C. D. Gellat, M. P. Vecchi, “Optimization by simulated annealing”, Science, vol. 220, pp. 671–680, 1983.
- [45] L. J. Fogel, A. J. Owens, M. J. Walsh, Artificial intelligence through simulated evolution. New York: Wiley, 1966.
- [46] J. Kennedy, R. Eberhart, “Particle swarm optimization”, in Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks, 1995, pp. 1942-1948.
- [47] A. E. Baktır, “Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Dinamik Ağırlık Ölçme Sisteminin Kimliklendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, 2018.
- [48] Parçacık Sürü Algoritması, <http://www.yazilimutfagi.com/index.php/2009/06/20/parcacik-suru-optimizasyonu-particle-swarm-optimization/>, 08. 07. 2024.
- [49] S. Asta, S. Uyar, “A novel particle swarm optimization algorithm” in Proceedings of 10th International Conference on Artificial Evolution, 2011.

- [50] M. Y. Özsağlam, M. Çunkaş, “Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçaçık sürü optimizasyonu algoritması”, *Politeknik Dergisi*, vol. 11, pp. 299-305, 2008.
- [51] X. S. Yang, “Firefly algorithms for multimodal optimization”. in *Proceedings 5th International symposium of stochastic algorithms: foundations and applications*, 2009. pp. 169-178.
- [52] X. S. Yang, “Firefly algorithm, Levy flights and global optimization”. in *Proceedings of Research and development in intelligent systems*, 2010, pp. 209-218.
- [53] H. Chen, Y. S. Ho, “Highly cited articles in biomass research: A bibliometric analysis.” *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 49, pp.12-20, 2015.
- [54] A. Pritchard, “Statistical bibliography or bibliometrics”, *Journal of documentation*, vol. 25, pp. 348–349, 1969.
- [55] B. Pham-Duc, T. Tran, H. T. T. Le, T. T. Nguyen, H. T. Cao, T. T. Nguyen, “Research on Industry 4.0 and on key related technologies in Vietnam: A bibliometric analysis using Scopus”, *Learned publishing*, vol. 34, pp. 414–428, 2021.
- [56] B. Pham-Duc, T. Tran, T. P. T. Trinh, T. T. Nguyen, H. T. T. Le, “A spike in the scientific output on social sciences in Vietnam for recent three years: Evidence from bibliometric analysis in Scopus database (2000–2019)”, *Journal of Information science*, vol. 48, pp. 623-639, 2020.
- [57] N. J., van Eck, L. Waltman, “Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping” *Scientometrics*, vol. 84, pp.523–538, 2010.
- [58] N. J., van Eck ve L. Waltman, “CitNetExplorer: A new software tool for analyzing and visualizing citation networks”, *Journal of informetrics*, vol. 8, pp.802–823, 2014.
- [59] D. De Domenico, G. Ricciardi, I. Takewaki, “Design strategies of viscous dampers for seismic protection of building structures: A review”, *Soil dynamics and earthquake engineering*, vol.118, pp.144-165, 2019.
- [60] G. Bekdaş, S. M. Nigdeli. “Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search”, *Engineering structures*, vol. 33, pp.2716-2723, 2011.
- [61] M. De Angelis, S. Perno, A. Reggio, “Dynamic response and optimal design of structures with large mass ratio TMD”, *Earthquake engineering & Structural dynamics*, vol.41, pp.41-60, 2012.
- [62] G.R. Zavala, A. J. Nebro, F. Luna, C. A. Coello, “A survey of multi-objective metaheuristics applied to structural optimization”, *Structural and multidisciplinary optimization*, vol. 49, pp.537-558, 2014.
- [63] K. Ghabraie, R. Chan, X. Huang, Y. M. Xie, “Shape optimization of metallic yielding devices for passive mitigation of seismic energy”, *Engineering structures*, vol. 32, pp.2258-2267, 2010.

- [64] E. Aydin, M. H. Boduroglu, D. Guney. “Optimal damper distribution for seismic rehabilitation of planar building structures”. *Engineering structures*, vol. 29, pp.176-185, 2007.
- [65] M. Liu, S. A. Burns, Y. K. Wen. “Optimal seismic design of steel frame buildings based on life cycle cost considerations”, *Earthquake engineering and structural dynamics*, vol.32(9), pp.1313-1332, 2003.
- [66] M. Fragiadakis, N. D. Lagaros, M. Papadrakakis, “Performance-based multiobjective optimum design of steel structures considering life-cycle cost”, *Structural and multidisciplinary optimization*, vol.32, pp.1-11, 2006.
- [67] M. Liu, D. M. Frangopol, “Multiobjective maintenance planning optimization for deteriorating bridges considering condition, safety, and life-cycle cost”, *Journal of structural engineering*, vol. 131(5), pp. 833-842, 2005.
- [68] D. De Domenico, G. Ricciardi, “Earthquake-resilient design of base isolated buildings with TMD at basement: Application to a case study”. *Soil dynamics and earthquake engineering*, vol.113, pp.503-521, 2018.
- [69] A. Güllü, S. G. Körpeoğlu, E. S. Selek Kılıçarslan, “Multi-objective optimal sizing of energy dissipative steel cushions for longitudinal loading”. *Structural and multidisciplinary optimization*, vol.63(6), pp.2955-2967, 2021.
- [70] A. Güllü, “Determination of the inelastic displacement demand and response control of steel frame type structures by seismic energy equations”. PhD Dissertation, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2018.
- [71] A. Güllü, E. Yüksel, C. Yalcin, “Seismic energy based design: numerical evaluations of diverse MDOF systems”. In. *Proc. 16th European Conference on Earthquake Engineering*, Thessaloniki, Greece, 2018.
- [72] Genetik Algoritma Akış Şeması,
https://tr.wikipedia.org/wiki/Genetik_algoritma, 10.07.2024.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. S. Göktepe Körpeoğlu, S. M. Yılmaz, “Sismik Tasarımlı Yapısal Sistemlerin Optimizasyonunda Evrimsel Hesaplamanın Araştırma Eğilimleri: Bibliyometrik Haritalama Analizi”, 13. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi (UBCAK), 2024, pp. 259-260.

