

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ZAMAN-MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ DEĞİŞTİRİLMİŞ
UYARLANABİLİR AĞIRLIK YAKLAŞIMLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Neslihan BERBEROĞLU

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ZAMAN-MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ
DEĞİŞTİRİLMİŞ UYARLANABİLİR AĞIRLIK YAKLAŞIMLARI**

Neslihan BERBEROĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 12 / 06 / 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vedat TOĞAN

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

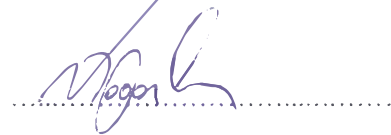
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Neslihan BERBEROĞLU Tarafından Hazırlanan**

**ZAMAN-MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ
DEĞİŞTİRİLMİŞ UYARLANABİLİR AĞIRLIK YAKLAŞIMLARI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Vedat TOĞAN



Üye Doç. Dr. Tayfun DEDE



Üye Doç. Dr. Serkan KIVRAK



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmamın başından itibaren karşılaştığım her problemin üstesinden gelmemde yardımcı olan bilgi ve görüşleriyle çalışmama ışık tutan ve bana her aşamada kaynak olan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Vedat TOĞAN'a çok teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca eğitimime katkı sağlayan hocalarıma katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süreci boyunca, güveniyle ve desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili eşim Murat BERBEROĞLU'na ve biricik oğlum Metehan BERBEROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme minnetlerimi bildiririm.

Neslihan BERBEROĞLU
TRABZON 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Zaman-Maliyet Ödünleşim Problemlerinin Çözümü İçin Yeni Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımları” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Vedat TOĞAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 12/06/2019

Neslihan BERBEROĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Taraması.....	3
1.3. Tezin Amaç, Kapsam ve Yöntemi	7
1.4. Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method – CPM)	8
1.5. Optimizasyon	13
1.5.1. Deterministik Yöntemler	13
1.5.2. Stokastik Yöntemler.....	13
1.5.2.1. Sezgisel Algoritmalar.....	14
1.5.2.2. Meta-Sezgisel (Meta-heuristic) Algoritmalar	14
1.5.2.2.1. Genetik Algoritma	17
1.5.2.2.2. Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (TLBO)	21
1.6. Amaç Fonksiyonu	25
1.7. Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı (Adaptive Weight Approach “AWA”)	26
1.8. Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı (Modified Adaptive Weight Approach “MAWA”).....	28
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	30
2.1. Giriş.....	30
2.2. Yeni Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımları	30
2.2.1. Yaklaşım 1 (MAWA_O1).....	31
2.2.2. Yaklaşım 2 (MAWA_O2).....	32

2.2.3.	Yaklaşım 3 (MAWA_O3).....	33
2.2.4.	Yaklaşım 4 (MAWA_O4).....	33
2.3.	Projelerin Genetik Algoritma Kullanılarak Çözümü	36
2.3.1.	7 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü	37
2.3.2.	14 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü	44
2.3.3.	18 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü	51
2.3.4.	63 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü	56
2.3.5.	630 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü	64
2.4.	Projelerin Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon Algoritması (TLBO) Kullanılarak Çözümü	70
2.4.1.	7 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü.....	71
2.4.2.	14 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü.....	75
2.4.3.	18 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü.....	76
2.4.4.	63 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü.....	78
2.4.5.	630 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü.....	82
2.5.	Optimizasyon Algoritmalarının Performanslarının Karşılaştırılması	85
2.5.1.	7 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması	85
2.5.2.	14 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması	87
2.5.3.	18 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması	88
2.5.4.	63 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması	89
2.5.5.	630 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması	91
3.	SONUÇ VE ÖNERİLER	94
4.	KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ZAMAN MALİYET ÖDÜNLEŞİM PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ
DEĞİŞTİRİLMİŞ UYARLANABİLİR AĞIRLIK YAKLAŞIMLARI

Neslihan BERBEROĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Vedat TOĞAN
2019, 101 Sayfa

Bu çalışmada, çok amaçlı zaman-maliyet ödünleşim problemlerinin çözümü için değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımına (MAWA'ya) alternatif olarak dört farklı yeni uyarlanabilir ağırlık yaklaşım formülleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni yaklaşım formüllerinin optimizasyon sürecindeki performanslarının incelenmesinde optimizasyon algoritması olarak GA ve TLBO algoritmaları kullanılmıştır. Bu amaçla teknik literatürde yer alan 7, 14, 18, 63 ve 630 aktiviteli yapı projeleri test için kullanılmıştır. Projeler için toplam zaman ve maliyet değerleri CPM yöntemi ile tespit edilmiştir. Elde edilen zaman ve maliyet değişkenlerinin tek değişkene indirilmesi için hem MAWA hem de geliştirilen yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı formülleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen sayısal incelemeler ışığında geliştirilen yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı formüllerinin MAWA'ya alternatif olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca GA ve TLBO yöntemlerinin optimizasyon süreçlerindeki başarısı incelenmiş ve TLBO ile daha başarılı sonuçlara ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı optimizasyon, Zaman-maliyet ödünleşim problemi, Değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı, Öğretme-öğrenmeye dayalı optimizasyon, Genetik algoritma, Sezgisel algoritmalar, Yeni uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı

Master Thesis

SUMMARY

NEW MODIFIED ADAPTIVE WEIGHT APPROACHES FOR THE SOLUTION OF TIME-COST TRADE-OFF OPTIMIZATION PROBLEMS

Neslihan BERBEROĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Vedat TOĞAN
2019, 101 Pages

In this study, four different new modified adaptive weight approaches have been developed as an alternative to the modified adaptive-weight approach (MAWA) for the solution of multi-objective time-cost trade-off problems. GA and TLBO algorithms were used as optimization algorithms to analyse the performance of these new developed approaches in the optimization process. For this purpose, building projects with 7, 14, 18, 63 and 630 activities taken from the technical literature were used for testing. Total time and cost values for projects were determined by CPM method. Both MAWA and newly developed modified adaptive weight approach formulas were used to reduce the time and cost variables obtained to a single variable. It was concluded that the new modified adaptive weight approach formulas developed in this study as a result of the numerical investigations could be used as an alternative to MAWA. In addition, the success of GA and TLBO methods in optimization processes has been examined and it has been determined that TLBO is more successful.

Key Words: Multi objective optimization, Time-cost trade-off problem (TCTP), Modified Adaptive Weighted Approach, Teaching Learning-Based Optimization (TLBO), Genetic Algorithm (GA), Metaheuristic algorithms, New adaptive weighted Approach,

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bir öncül ve bir ardıllı ilişki.....	8
Şekil 2. Birden fazla öncül ve ardıl ile geçişkenlik durumu ilişkisi.....	8
Şekil 3. Ok yöntemi ile diyagram oluşturma	9
Şekil 4. Öncelik yöntemi ile diyagram oluşturma.....	10
Şekil 5. Ok yöntemi ile diyagramda zamanlar	11
Şekil 6. Öncelik yöntemi ile diyagramda zamanlar	11
Şekil 7. Basit çaprazlama mekanizması	19
Şekil 8. Mutasyon örnekleri	19
Şekil 9. Genetik algoritma ile optimizasyon uygulama aşamaları	20
Şekil 10. TLBO algoritması optimizasyon süreci akış şeması.....	24
Şekil 11. Araştırmanın Modeli	36
Şekil 12. 7 aktiviteli projenin iş akış şeması.....	38
Şekil 13. 7 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi.....	38
Şekil 14. 7 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi.....	39
Şekil 15. Orijinal MAWA formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi.....	40
Şekil 16. MAWA_O1 formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi	40
Şekil 17. MAWA_O2 formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi	41
Şekil 18. MAWA_O3 formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi	41
Şekil 19. MAWA_O4 formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi	41
Şekil 20. 14 aktiviteli yapım projesi için zaman-direkt maliyet ilişkisi.....	46
Şekil 21. 14 aktivite yapım projesi için zaman-dolaylı maliyet ilişkisi	47
Şekil 22. 14 aktiviteli projenin iş akış şeması.....	48

Şekil 23.	14 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi	48
Şekil 24.	14 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi.....	49
Şekil 25.	18 aktiviteli projenin iş akış şeması	52
Şekil 26.	18 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi	52
Şekil 27.	18 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi.....	53
Şekil 28.	63 aktiviteli projenin iş akış şeması.....	58
Şekil 29.	63 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi (63a).....	59
Şekil 30.	63 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi (63a)	59
Şekil 31.	63 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi (63b).....	62
Şekil 32.	63 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi (63b).....	62
Şekil 33.	630 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi (630a).....	65
Şekil 34.	630 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi (630a)	66
Şekil 35.	630 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi (630b).....	68
Şekil 36.	630 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi (630b).....	68
Şekil 37.	Orijinal MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi.....	71
Şekil 38.	MAWA_O1 formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi.....	72
Şekil 39.	MAWA_O2 formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi.....	72
Şekil 40.	MAWA_O3 formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi.....	72
Şekil 41.	MAWA_O4 formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi.....	73
Şekil 42.	7 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar	86

Şekil 43. 14 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar	87
Şekil 44. 18 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar	88
Şekil 45. 63 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar (63a).....	89
Şekil 46. 63 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar (63b)	90
Şekil 47. 630 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar (630a).....	92
Şekil 48. 630 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar (630b)	93



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Basit bir projede öncelik ilişkileri.....	9
Tablo 2. Basit bir projede öncelik ilişkileri (Zamanlı).....	10
Tablo 3. Ok ve öncelik yöntemlerine göre yollar ve zamanlar	11
Tablo 4. Meta sezgisel algoritmaların tarihi.....	15
Tablo 5. GA optimizasyonunda farklı MAWA fonksiyonlarının seçim sonuçları	35
Tablo 6. 7 aktiviteli yapım projesinin veri seti.....	37
Tablo 7. 7 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar.....	39
Tablo 8. 7 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları	42
Tablo 9. 7 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması	43
Tablo 10. 14 aktiviteli yapım projesinin veri seti.....	44
Tablo 11. 14 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar.....	49
Tablo 12. 14 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları	50
Tablo 13. 18 aktiviteli yapım projesinin veri seti.....	51
Tablo 14. 18 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar.....	53
Tablo 15. 18 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları	54
Tablo 16. 18 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması	55
Tablo 17. 63 aktiviteli yapım projesinin veri seti.....	56
Tablo 18. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar (63a)	60
Tablo 19. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (63a).....	60
Tablo 20. 63 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (63a)	61

Tablo 21. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar (63b).....	63
Tablo 22. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (63b)	63
Tablo 23. 63 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (63b).....	64
Tablo 24. 630 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (630a).....	66
Tablo 25. 630 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (630a).....	67
Tablo 26. 630 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (630b)	69
Tablo 27. 630 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (630b).....	70
Tablo 28. 7 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar	71
Tablo 29. 7 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları	73
Tablo 30. 7 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması	74
Tablo 31. 14 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar	75
Tablo 32. 14 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları	75
Tablo 33. 18 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar	76
Tablo 34. 18 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları	77
Tablo 35. 18 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması	77
Tablo 36. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar (63a)	79
Tablo 37. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (63a).....	79
Tablo 38. 63 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (63a).....	80
Tablo 39. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar (63b)	80

Tablo 40. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (63b)	81
Tablo 41. 63 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (63b).....	81
Tablo 42. 630 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (630a).....	82
Tablo 43. 630 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (630a).....	83
Tablo 44. 630 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (630b).....	83
Tablo 45. 630 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (630b).....	84
Tablo 46. 7 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması	86
Tablo 47. 14 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması	87
Tablo 48. 18 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması	88
Tablo 49. 63 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması (63a).....	89
Tablo 50. 63 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması (63b)	90
Tablo 51. 630 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması (630a).....	91
Tablo 52. 630 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması (630b)	92

SEMBOLLER DİZİNİ

ABC	: Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm)
ACO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization)
AoA	: Aktiviteler Okta (Activity on Arrow)
AWA	: Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı (Adaptive Weight Approach)
BSA	: Yarasa Arama Algoritması (Bat Search Algorithm)
CA	: Cırcır Böceği Algoritması (Cricket Algorithm)
CPM	: Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method)
CSA	: Guguk Kuşu Arama Algoritması (Cuckoo Search Algorithm)
DE	: Diferansiyel Evrim Algoritması (Differential Evolution)
DİM	: Direkt Maliyet
DiM(t)	: Toplam Direkt Maliyet
DoM	: Dolaylı Maliyetler
DoM(tpr)	: Toplam Dolaylı Maliyetler
DTCTP	: Ayrık Zaman-Maliyet Ödünleşim Problemi (Discrete Time-Cost Trade-Off Problem)
EDDİM	: En Düşük Direkt Maliyet
EDDoM	: En Düşük Dolaylı Maliyet
EDZ	: En Düşük Zaman
EYDİM	: En Yüksek Direkt Maliyet
EYDoM	: En Yüksek Dolaylı Maliyet
EYZ	: En Yüksek Zaman
FA	: Ateş Böceği Algoritması (Firefly Algorithm)
FOA	: Meyve Sineği Optimizasyonu Algoritması (Fruit Fly Optimization Algorithm)
GA	: Genetik Algoritma
HA	: Melez Algoritma (Hybrid Algorithm)
HS	: Uyum Arama Algoritması (Harmony Search)
IHS	: Geliştirilmiş Uyum Arama (Improved Harmony Search)

ITLBO	: Geliştirilmiş Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (Improved Teaching-Learning Based Optimization)
MA	: Memetic Algoritma
MAWA	: Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı (Modified Adaptive Weight Approach)
MAWA_O1	: Yeni Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı-Formül 1
MAWA_O2	: Yeni Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı-Formül 2
MAWA_O3	: Yeni Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı-Formül 3
MAWA_O4	: Yeni Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı-Formül 4
MBO	: Göçmen Kuş Optimizasyon Algoritması (Migrating Bird Optimization Algorithm)
MTLBO	: Değiştirilmiş Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (Modified Teaching-Learning Based Optimization)
NDİM	: Normal Direkt Maliyet
NDoM	: Normal Dolaylı Maliyet
NDS	: Baskın olmayan Sıralama (Non-Dominating Sorting)
NZ	: Normal Zaman
OSR	: Toplam Güvenlik Riski (Overall Safety Risk)
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu (Partical Swarm Optimization)
QSA	: Kuantum Benzetimli Tavlama Teknikleri (Quantum Simulated Annealing Techniques)
SA	: Benzetilmiş Tavlama Algoritması (Simulated Annealing)
SI	: Sürü Zekası (Swarm Intelligence)
TCO	: Zaman-Maliyet Optimizasyonu (Time Cost Optimization)
TCTP	: Zaman-Maliyet Ödünleşim Problemi (Time-Cost Trade-Off Problem)
TLBO	: Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (Teaching-Learning Based Optimization)
TM	: Toplam Maliyet
TS	: Tabu Arama (Tabu Search)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yapı projelerinin inşası belirli bir zaman ve maliyet almaktadır. Geçmişte bu yapıların yapımı on hatta yüz yıllar sürmekte ve bu yapım için gereken hammadde ve iş gücünün çok uzak yerlerden getirilmesi gerekebilmekteydi.

O zamanlardan bu yana insanoğlu yeni teknik ve imkânlar ile yapının yapım zamanını ve maliyetini azaltmaya çalışmaktadır. Bu iki kavram genellikle birbirine ters yönde hareket etmektedir. Genellikle zaman artarken maliyet düşmekte ya da maliyet artarken zaman düşmektedir. Örneğin bina yapımında kullanılacak hammaddenin yakın mesafeden alınması durumunda pahalıya, ancak uzak mesafeden alınması durumunda ucuza mal edilebileceği alternatifleri mevcut olabilmektedir. Öte yandan çalışılan iş günü sayısı arttıkça ödenecek işçilik bedeli de artmaktadır. Yapı projelerinde iki tür maliyetten söz edilebilmektedir. İlki direkt maliyet ikincisi ise dolaylı maliyettir. Direkt maliyet, proje zamanı ile ters yönlü bir ilişkiye sahiptir. Proje zamanı arttıkça projenin direkt maliyeti azalmaktadır. Dolaylı maliyet ise proje zamanı ile aynı yönde ilişkilidir. Buna göre proje bitirilme zamanı arttıkça dolaylı maliyeti de artmaktadır.

Yapım projelerinde projenin her bir yapım işi (faaliyet, aktivite) için farklı gerçekleştirme (kaynak kullanımı) alternatifleri mevcut olabilmektedir. Bu alternatifler hem zaman hem de maliyet üzerine etkili olmaktadır. Bu durumda temel sorulardan biri yapı projesinde zamanın mı, yoksa maliyetin mi en küçük (minimum) yapılacağıdır. Hem zamanın hem de maliyetin en küçük olacak şekilde ayarlanmaya çalışılması çok amaçlı zaman maliyet ödünleşim problemi (Multi-objective Time-Cost Trade-Off Problem-TCTP) olarak bilinen problemin ortaya çıkmasına yol açmıştır (Zheng vd., 2004).

Günümüzde bu problemin çözülebilmesi için farklı birçok teknik uygulanmaktadır. Ancak bu problemin çözüm süreci genel olarak aşağıdaki gibi olmaktadır.

Çözüm süreci, proje ekibinin proje yapım işlerinin her biri için mümkün olan zaman ve maliyet alternatiflerinin analizlerinin yapılarak mümkün olan alternatiflerin belirlenmesi ile

başlamaktadır. Bir yapım işi için tek bir alternatif mümkün ise zaman-maliyet ödünleşim probleminden bahsetmek mümkün değildir.

Çözüm süreci, projenin yapım işleri için alternatifleri arasından alınan zaman ve maliyet değerleri ile projenin toplam zaman ve maliyet hesabının yapılması ile devam etmektedir. Proje zamanlaması için kullanılan yöntem çoğunlukla kritik yol yöntemidir (Critical Path Method CPM) (Siemens, 1971). Projenin maliyeti ise yapım aşamalarının maliyet değerleri (direkt maliyet) ile dolaylı maliyetinin toplamı olarak belirlenmektedir. Farklı alternatif tercihleri ile en düşük zaman-maliyet değerine ulaşılmaya çalışılmaktadır. Ardından proje için istenilen kriter(ler)i sağlayan yapım aşmalarının farklı alternatif bileşenleri arasından en uygun olanı belirlenmektedir. Bu süreç literatürde en uygununu bulma (optimizasyon) olarak bilinmektedir. Dolayısı ile bir zaman-maliyet ödünleşim probleminin çözümü proje süresinin, maliyetinin ve en uygun alternatif bileşenlerinin belirlendiği gömülü iki süreci içermektedir. Diğer bir değişle problemin çözümü kritik yol yönteminin ve bir optimizasyon algoritmasının ardışık ve etkileşimli olarak çalıştığı gömülü bir süreç olmaktadır.

Zaman-maliyet ödünleşim problemi eş zamanlı olarak bir projenin hem zaman hem de maliyetini minimum yapacak yapım işleri alternatiflerini belirlemek olduğundan çok amaçlıdır. Bu nedenle bu iki değişkenin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla farklı teknikler kullanılabilir. Bu yöntemlerden en çok bilineni ağırlık (weight) ve baskın olmayan sıralama (non-dominated sorting) yaklaşımlarıdır. Ancak uygulanış ve anlaşılabilirlik bakımından ağırlık yaklaşımı diğer yöntemler arasında en kolay olanıdır. Yöntem, zaman ve maliyet değerlerini kullanarak ilgili formüller aracılığı ile bu değerleri tek değere indirgemektedir. Değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı (Modified Adaptive Weight Approach- MAWA) ağırlık yaklaşımları arasında en popüler ve etkin olanı olarak öne çıkmaktadır. MAWA ile tek bir değere indirgenen bilgi, optimizasyon algoritması aracılığı ile işlenerek en uygununun bulunması sağlanmaktadır (Zheng vd., 2004).

Literatürde genel olarak matematiksel ile sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Matematiksel yöntemler her zaman en iyi sonuca ulaşabilmektedirler. Ancak büyük projelerde hesaplama açısından fazlaca zaman gereksinime ihtiyaç duyduklarından kullanışlı olmamaktadırlar. Bunun yanında sezgisel yöntemler her zaman en iyi sonuç yerine yaklaşık en iyi sonucu vermektedirler ve sonuca matematiksel yöntemlere kıyasla hesaplama

açısından çok daha hızlı ve daha düşük araştırma ile ulaşabilmektedirler. Ayrıca matematiksel yöntemlerden çok daha kolay uygulanabilmektedirler.

Sezgisel yöntemler doğada var olan olayların işleyiş prensiplerinin sayısal olarak taklit edildiği süreçlerdir. Örneğin bir sineğin, bir arının, bir karıncanın besin bulma davranışını veya öğrenme davranışını, veyahut en iyi olanın hayatta kalması vb. gibi. Doğal olarak sayısız sezgisel yöntem olmakla birlikte bunlar arasında en çok bilineni ve kullanılanı işleyişi en iyi olanın hayatta kalmasına dayanan Genetik Algoritma (GA)'dır (Gen ve Cheng (2000)). Bunun yanında son yıllarda ortaya çıkmış öğretme-öğrenmeye dayalı optimizasyon (Teaching-Learning Based Optimization-TLBO) algoritması da uygulandığı çeşitli alanlardaki optimizasyon problemlerinde iyi sonuçlar üretmesi nedeni ile tercih edilmeye başlanmıştır.

1.2. Literatür Taraması

Çok amaçlı zaman maliyet ödünleşim problemi ile ilgili teknik literatüre bakıldığında konu ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Ancak bu çalışmalarda genel kabul görmüş birkaç farklı yapım projeleri örnekleri incelenmiştir. Bu yapım projesi örnekleri 7, 8, 14, 18, 36, 63 ve 630 gibi farklı aktivite sayılarına sahiptirler. Anılan çalışmalarda çok farklı çok amaçlı optimizasyon yöntem ve algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmada, değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı, GA ve TLBO ile kullanıldığından literatür araştırması yapılırken bu algoritmaları tercih eden çalışmalara ağırlık verilmiştir.

Feng vd. (1997) 18 aktiviteli proje çözümü için pareto front yöntemi ile GA kullanmıştır. Kurulan modelin optimizasyon açısından başarılı performans elde ettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Gen ve Cheng (2000) zaman maliyet problemlerinin çözümünde GA kullanmışlardır. Zaman ve maliyet değerlerinin uyarlanabilir ağırlık yöntemi (adaptive weight approach "AWA") ile tek değişkene indirilmesi ve bunun GA ile optimizasyon sürecinde kullanılmasının başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Feng vd. (2000) çalışmalarında zaman-maliyet ödünleşim problemini belirsizlik altında çözmek için simülasyon tekniklerini ve genetik algoritmayı birleştiren karma bir yaklaşım sunmaktadırlar. Buna göre simülasyon teknikleri ile GA başarılı bir şekilde optimizasyon yapmaktadır. Bu yeni yaklaşım proje yöneticilerine inşaat süresi / maliyet kararlarını daha

gerçekçi bir şekilde analiz etmenin yeni bir yolunu sunmuştur. Yöntem farklı stratejilere göre proje zaman ve maliyetlerinin incelenmesini sağlamaktadır.

Zheng vd. (2002) 7 aktiviteli proje için yapmış oldukları çalışmada genetik algoritma yöntemini doğrusal programlama, tam sayılı programlama ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda GA'nın özellikle büyük ve daha karmaşık projelerde daha kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Zheng vd. (2004) çalışmalarında Gen ve Cheng (2000)'de kullanılan model olan AWA-GA yöntemindeki AWA'yı geliştirilerek MAWA-GA yöntemini önermişlerdir. Buna göre MAWA-GA modelinin daha başarılı sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Zheng vd. (2005) 18 aktiviteli projenin GA-MAWA yöntemi ile incelediği çalışmada mutasyon ve seçim yöntemi parametrelerini farklılaştırarak 3 farklı model oluşturmuşlardır. Bu şekilde yerel optimizasyon sorunundan sakınmaya çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen model geleneksel sezgisel ve matematiksel yaklaşımların sakıncalarını ortadan kaldırmakta başarılı olmuştur. Ayrıca daha önce geliştirilen GA modelleriyle karşılaştırıldığında da modelin başarı düzeyinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Abbasnia vd. (2008) 7 aktiviteli projede, Eshtehardian vd. (2009) 7 ve 18 aktiviteli projelerde bulanık mantık ile GA kullanmışlardır. Ayrıca amaç fonksiyonu için de baskın olmayan sıralama (Non Dominant Sorting "NDS") yöntemi kullanmışlardır. Her iki çalışma sonuçlarına göre oluşturulan yöntem proje yöneticisine farklı risk seviyelerine göre sonuçlara ulaşma imkanı sağlamakta ve buna göre karar alma opsiyonunu sunmaktadır.

Parveen ve Saha (2012) çalışmalarında 7 ve 8 aktiviteli projeler incelemişlerdir. Buna göre MAWA-GA yöntemi ile bir pareto optimum çözüm kümesinin oluşturulması ve karar vericilerin bu çözüm kümesi içerisinde kendilerine uygun çözümü tercih etmesinin daha verimli olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca iterasyon sayısının artırılması ile Zheng vd. (2004)'nin sonuçlarından daha iyi sonuçlara ulaşmışlardır. Bu nedenle Matlab gibi bilgisayar programı kullanmanın optimizasyon sürecinin performansını arttıracaklarını belirtmişlerdir.

Sönmez ve Bettemir (2012) ayrık zaman-maliyet ödünleşim problemi (DTCTP) için genetik algoritma (GA), benzetilmiş tavlama (SA) ve kuantum benzetimli tavlama teknikleri (QSA) kullanılarak geliştirilen bir karma strateji sunmuşlardır. Hibrit(Melez) algoritmanın performansını değerlendirmek için 18, 29, 63 ve 630 aktiviteli projeler kullanılmıştır. Yapılan inceleme sonucuna göre hibrit algoritmanın 29 aktiviteli proje sonuçlarına kadar optimum

sonuçlara ulaştığı daha büyük aktiviteli projelerde ise GA'dan çok daha yakın sonuçlara ulaştığı tespit edilmiştir.

Armaghani (2014) çalışmasında benzetilmiş tavlama (Simulated Annealing-SA) ve Genetik Algoritma yöntemi ile hibrit bir yöntem geliştirmiştir. 18 aktiviteli proje üzerinde incelenen yöntem baskın olmayan sonuçların kaybolmasını engelleyerek onları bir havuzda toplamaktadır. Ayrıca yöntemin en önemli katkılarından biri bütçe kısıtının probleme eklenmesi olarak belirtilmiştir.

Prašćević ve Praščević (2014) 14 aktiviteli projenin zaman-maliyet optimizasyonunda parçacık sürü optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Doğrusal olmayan yöntem ile incelenen çalışma 14 aktiviteli olarak yapılan nadir çalışmalardan biri olarak literatüre geçmiştir.

Afshar ve Dolabi (2014) çok amaçlı zaman-maliyet-güvenlik problemi optimizasyonu üzerine hazırladığı çalışmasında 18 aktiviteli projeyi test etmişlerdir. Buna göre kurulan model aynı anda toplam süreyi, toplam maliyeti ve toplam güvenlik riskini (OSR) optimize edebilmektedir.

Koo vd. (2015) çalışmalarında GA-NDS sistemini kullanarak bir yöntem geliştirmeye çalışmışlardır. Buna göre geliştirilen yöntem proje yöneticisine 1) başlangıç maliyeti, sürdürme maliyeti, bakım maliyetleri vb. ikiden fazla kriter ile optimizasyon yapma 2) ağırlıkların daha faydalı kullanılabilmesi, 3) dört farklı türde amaç fonksiyonu kullanılabilme gibi imkanları vermektedir.

Magalhães-Mendes (2015a) çalışmasında 7 aktiviteli (2015b) çalışmasında ise 18 aktiviteli projelerin optimizasyonunu Rastgele Anahtar Varyantı-GA yöntemi ile yeni hibrit bir yöntem oluşturmuştur. Elde edilen sonuçların başarılı olduğu ve yöntemin alternatif bir yöntem olabileceğini tespit etmiştir.

Eirgash vd. (2017) çalışmalarında GA'da farklı operatör ve bu operatörlerin kullanım oranlarının değiştirilmesinin optimum çözüm üzerindeki etkilerini incelemiştir. 7 aktiviteli proje örneğinin kullanıldığı çalışma sonucunda GA'nın optimizasyonda iyi sonuçlar elde ettiğini ve incelenen tüm GA parametreleriyle optimum sonuca ulaşılabildiğini tespit etmişlerdir.

Al-Zarrad ve Fonseca (2018) zaman ve maliyet değerlerindeki belirsizliği de hesaba katan bulanık faaliyete dayalı maliyetleme yöntemini incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre kurulan modelin kolay uygulanabilir olduğu, GA'ya göre daha iyi sonuçlar verebildiği ve zaman-maliyet

ödünleşim kararlarının güvenilirliğini arttırabildiğini belirtmişlerdir. Bu durumun, daha güvenilir bir program oluşturulmasına yardımcı olacağı ve aşırı bütçeli veya programın gerisinde çalışan projelerin riskini azaltacağını belirtmişlerdir.

Dede (2018) 7 aktiviteli projede TLBO-MAWA ve TLBO-NDS yöntemlerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre TLBO yönteminin her iki yöntemde de başarılı performans sergilediği sonucuna ulaşmıştır.

Eirgash (2018) yapmış olduğu çalışmasında GA ve TLBO algoritmaları ile MAWA ve NDS yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada kurulan modeller 7, 18, 63 ve 630 aktiviteli projeler üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre NDS'nin MAWA'ya göre özellikle proje aktivite sayısı arttığında daha iyi sonuçlara ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca NDS-TLBO temelli kısmi rastgele başlangıç popülasyonu ile çalışan modelin, diğer TLBO'ya göre işleyen modellere göre daha iyi sonuçlara ulaştığı belirlenmiştir. Ek olarak büyük ölçekli projelerde de optimum sonuca yakın başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.

Eirgash ve Dede (2018) çalışmalarında farklı öğrenci gruplarına farklı öğretmen atanması ve uyarlanabilir öğretim faktörünü ile geliştirilen TLBO algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmada bu algoritma MAWA ile ilişkilendirilmiştir. 18 ve 63 aktiviteli projelerle incelenen modelin başarılı pareto front çözümleri sunduğu tespit edilmiştir. Çalışma literatürde kıyaslanan benzer çalışmalara göre daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. Buna ek olarak 18 aktiviteli projede optimum sonuca tam olarak, 63 aktiviteli projede ise optimum sonuca yaklaşık olarak ulaşarak başarılı sonuçlar vermektedir.

Toğan ve Eirgash (2019a) çalışmalarında optimizasyon için TLBO-MAWA modelini önererek, yöntemin performansını 7, 18 ve 63 aktiviteli projeler üzerinde test etmişlerdir. Sonuç olarak TLBO yönteminin başarılı sonuçlar elde ettiğini ve çözüm üretmede belirli bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca TLBO algoritmasının basitliğinin yöntemin güçlü yanı olduğu belirtilmiştir.

Toğan ve Eirgash (2019b) TLBO'nun büyük ölçekli projelerde etkinliğini arttırmak amacıyla güncellenmiş TLBO (MTLBO) algoritmasını NSD yöntemi ile incelemiştir. Başlangıç popülasyonu yaratma modeli güncellenen algoritma 63 aktiviteli proje üzerinde test edilmiştir. Buna göre algoritmanın TLBO'ya göre daha iyi sonuçlara ulaştığı ve global optimum sonuçlara çok daha yakın sonuçlara ulaştığı tespit edilmiştir.

1.3. Tezin Amaç, Kapsam ve Yöntemi

Bir yapım projesini oluşturan çeşitli yapım işlerini farklı zaman ve maliyet alternatifleri ile gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Bu alternatifler arasından istenilen hedefe/hedeflere uygun olanının belirlenmesi, kaynakların etkin ve verimli kullanılmasının önemli olduğu günümüz yarışmacı iş çevresinde önemli unsur olarak ortaya çıkmaktadır.

İlgili yapım projesi için en uygun zaman-maliyet ödünleşimini veren yapım işleri alternatiflerinin belirlenmesi için literatürde değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşım formülleri ile sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Uygulanış ve anlaşılma kolaylığı sunan bu formüller aracılığı ile tek amaçlı bir optimizasyon problemine dönüşen zaman-maliyet ödünleşim problemi genellikle Genetik Algoritma (GA) kullanılarak çözülmüştür. Değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşım formülleri aracılığı ile belirlenen ağırlıklar ilgili probleme çözüm olabilecek farklı seçenekleri (bireyleri) içeren ve popülasyon olarak bilinen kümeye bir bütün olarak uygulanmaktadır. Popülasyon yenilendikçe bu ağırlıklarda yeniden uyarlanmaktadır. Ancak popülasyon içerisindeki bireylerin probleme çözüm olabilme uygunlukları birbirinden farklı olmaktadır. Dolayısı ile bu durum ağırlıkların popülasyondan popülasyona değil de bireyden bireye uyarlanır olması fikrini akla getirmektedir.

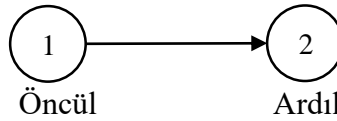
Bu çalışmanın amacı ilgili yapım projesi için en uygun zaman-maliyet ödünleşimini veren yapım işleri alternatiflerinin belirlenmesi için kullanılacak yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşım formülleri geliştirmek ve bu tür problemlerin çözümüne araştırma sayısını azaltma ve genel optimum çözümü bulabilme yönündeki etkisini incelemektir. Bu amaçla kullanılan değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşım formüllerinden hareketle farklı özelliklere sahip 4 adet yeni uyarlanabilir formülasyon geliştirilmiştir. Geliştirilen formülasyonların temel özellikleri optimizasyon sürecinde ilgili optimizasyon algoritması tarafından yenilenen popülasyondaki bireylerin her birine uyumluluklarına göre ağırlıkların uyarlanmasıdır. Çalışmanın bir diğer amacı, genellikle değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşım formülleri ile kullanılan GA'nın yanı sıra geliştirilen formüllerin farklı bir optimizasyon algoritması ile performanslarında bir değişimin olup olmayacağını araştırılmasıdır. Bu amaçla kullanılan farklı optimizasyon algoritması öğretilme-öğrenmeye dayalı optimizasyon algoritmasıdır.

Çalışma kapsamında, teknik literatürden alınan küçük, orta ve büyük ölçekli olarak adlandırılan 7, 14, 18, 63 ve 630 aktiviteli yapım projeleri incelenmiştir.

Çalışmanın amacına ulaşmak için önceki bölümlerde açıklanan süreçleri içerecek şekilde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Çalışmanın kapsamındaki yapım projeleri geliştirilen bu bilgisayar programı aracılığı ile tekrardan çözülmüştür. İlgili projelerin literatürde yer alan sonuçları ile çalışmada elde edilen sonuçları araştırma sayısı ve genel optimumu bulma kriterleri dikkate alınarak karşılaştırılmış ve ilgili tablolarda bu kıyaslama sonuçları özetlenmiştir.

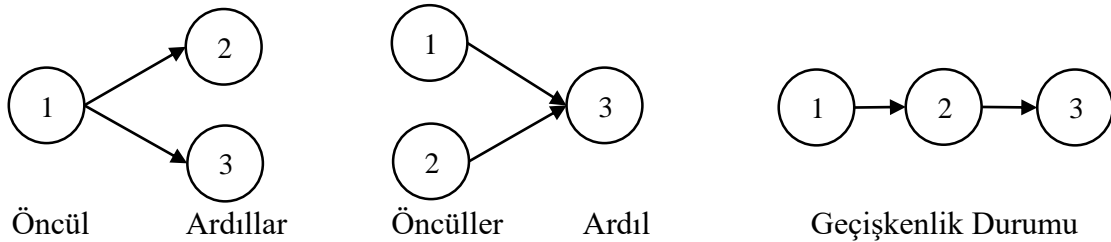
1.4. Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method – CPM)

CPM'deki ilk adım, projeyi gerçekleştirmek için aktivitelere ayırmak ve bunlar arasındaki öncelik ilişkilerini belirlemektir. Öncelik, bir aktivitenin başlayabilmesi için başka bir aktivitenin bitirilmesi gerektiğidir. Örneğin, duvarların boyanması işi ancak duvarların örülmesinden sonra yapılabilmektedir. Aktivite 2'nin başlayabilmesi için aktivite 1'in bitirilmesi gerekiyorsa, aktivite 1 aktivite 2'nin öncülü; aktivite 2 de aktivite 1'in ardılı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1. Bir öncül ve bir ardıllı ilişki

Bir aktivitenin birkaç öncülü veya ardılı olabilmektedir. Aktivite ancak tüm öncüllerin tamamlanmasından sonra başlayabilir. Ek olarak aktivite 1, 2'nin öncülü ve aktivite 2'de 3'ün öncülü olursa aktivite 1 doğal olarak aktivite 3'ün öncülü olmaktadır. Bu ilişki durumuna geçişkenlik denilmektedir (Murty, 2003).



Şekil 2. Birden fazla öncül ve ardıl ile geçişkenlik durumu ilişkisi

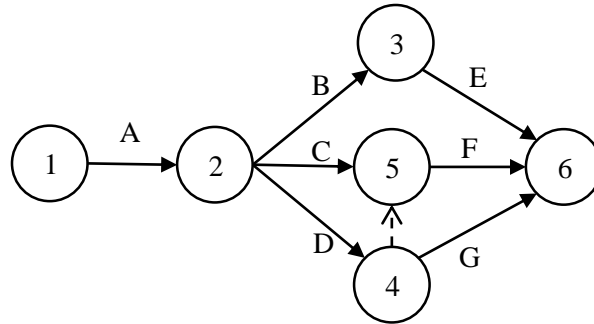
Böylece tüm proje içerisindeki öncüller ve ardıllar belirlenerek projenin şebeke diyagramı belirlenmektedir. Şebeke diyagramları yukarıda bahsedildiği gibi projedeki tüm faaliyetlerin aralarındaki ilişkilerinin grafik haline dönüştürülmesidir (Karahana ve Ezin, 2014).

Bir ağ diyagramı, ok diyagramlarıyla veya öncelik diyagramlarıyla olmak üzere iki teknikten biriyle gösterilebilirler (Carson vd., 2014). Hem ok diyagramı hem de öncelik diyagramına örnek vermek için Tablo 1'deki veri seti kullanılmaktadır (Degirmenci, 2008).

Tablo 1. Basit bir projede öncelik ilişkileri

Aktivite	Öncül
A	
B	A
C	A
D	A
E	B
F	C, D
G	D

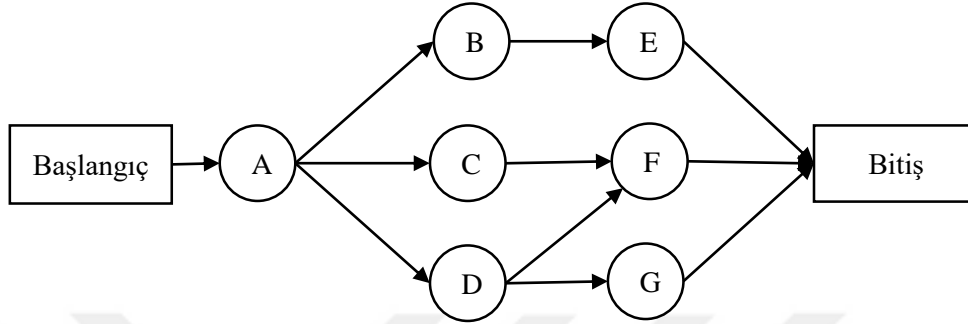
Tablo 1'deki örnek veriler ilk olarak ok yöntemi çizelgelenmiş ve Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Ok yöntemi ile diyagram oluşturma

Burada oklar faaliyetleri, daireler ise faaliyetin bitirilmesini temsil etmektedir. Bu duruma aktiviter okta (Activity on Arrow, AoA) ağı denilmektedir (Carson vd., 2014).

Aynı örnek öncelik yöntemi ile de çizelgelenmiş ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Öncelik yöntemi ile diyagram oluşturma

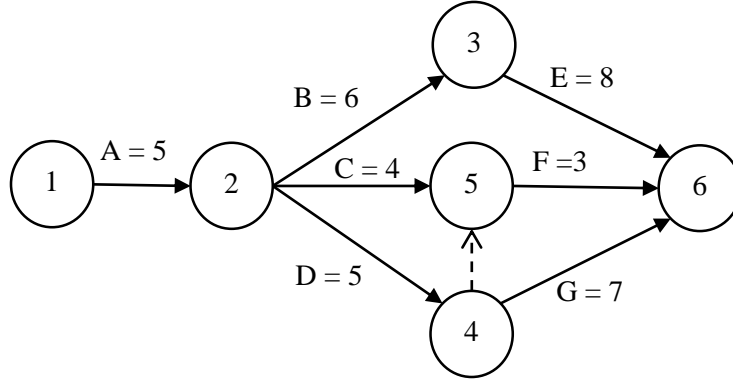
Burada daireler aktiviteleri, oklar ise faaliyetlerin gidiş yönlerini temsil etmektedir (Carson vd., 2014).

İster ok yöntemi, isterse öncelik yöntemi kullanılarak diyagram oluşturulsun belirlenen yollar üzerindeki her bir aktiviteye ait süreler başlangıçtan bitişe kadar birikimli olarak toplanır. Yukarıdaki projedeki veri setine rastgele zamanlar eklenerek oluşturulan veriler Tablo 2'de verilmiştir.

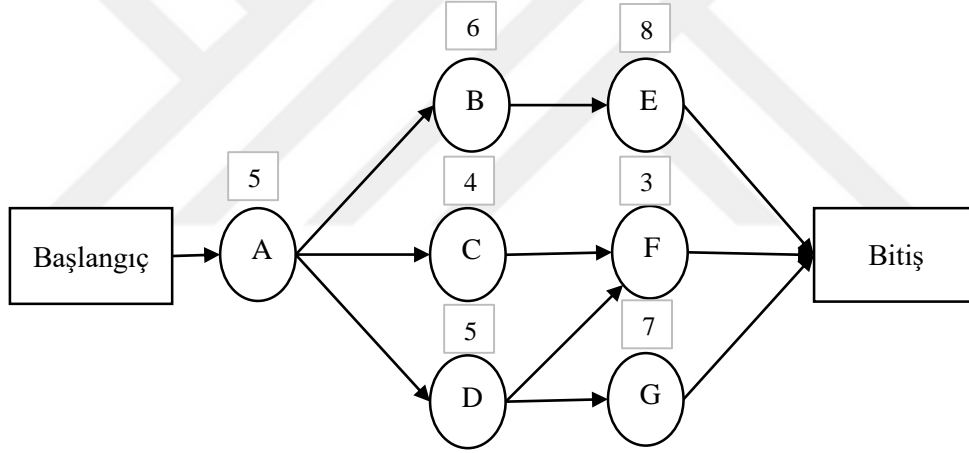
Tablo 2. Basit bir projede öncelik ilişkileri (Zamanlı)

Aktivite	Öncül	Süre (gün)
A		5
B	A	6
C	A	4
D	A	5
E	B	8
F	C, D	3
G	D	7

Tablo 2'deki veriler kullanılarak hem ok yöntemine göre hem de öncelik yöntemine göre oluşturulan diyagramlar Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Ok yöntemi ile diyagramda zamanlar



Şekil 6. Öncelik yöntemi ile diyagramda zamanlar

Şekil 5 ve Şekil 6 da 4 farklı alternatif yol vardır. Bunlara ait zamanlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Ok ve öncelik yöntemlerine göre yollar ve zamanlar

Yollar		Toplam Zamanlar (Gün)
Ok Yöntemi	Öncelik Yöntemi	
1,2,3,6	A,B,E	$5 + 6 + 8 = 19$
1,2,5,6	A,C,F	$5 + 4 + 3 = 12$
1,2,4,5,6	A,D,F	$5 + 5 + 3 = 13$
1,2,4,6	A,D,G	$5 + 5 + 7 = 17$

Buna göre ilk yol 19 günde, ikinci yol 12 günde, üçüncü yol 13 günde ve dördüncü yol ise 17 günde bitmektedir. Bu yollar içerisinde bir tanesi kritik yol olarak belirlenmektedir. Kritik yol tüm alternatif yollar içerisinde en uzun yolu (Path) veren aktivite zinciri olarak tanımlanmaktadır (Siemens, 1971). Buna göre bu projede kritik yol olarak ilk yol tespit edilmiştir.

Kritik yol metodu ile ilgili şu özellikler mevcuttur (Mubarak, 2015).

- Her projede en az bir kritik yol mevcuttur,
- Birden çok kritik yol olabilir ve çoklu yollar bazı aktiviteleri paylaşabilirler,
- Herhangi bir kritik yol, projenin başlangıcından sonuna kadar sürekli olmalıdır,
- Eğer bir ağdaki tüm yollar belirli bir aktiviteden geçiyorsa, bu aktivite kritik olmalıdır,

Kritik yol hesaplandıktan sonra projeye ait toplam maliyet hesaplanmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi maliyetler direkt ve dolaylı olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Direkt maliyetler her bir aktivitenin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan maliyetlerdir. Dolaylı maliyetler ise genellikle günlük sabit bir tutardır ve projenin bitirilme süresi uzadıkça dolaylı maliyetler de artar. Bu bilgilere göre projenin toplam maliyeti (TM) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Pour vd., 2012);

$$TM = \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) + (d * c) \quad (1.1)$$

Burada X projedeki aktivite maliyetlerini, d kritik yoldaki toplam gün sayısını, c günlük sabit dolaylı maliyeti, i projedeki aktiviteleri temsil etmektedir. Buna göre projenin toplam maliyeti; projedeki tüm aktivitelere ait direkt maliyetler toplamı ile kritik yoldaki toplam gün sayısı ve günlük sabit dolaylı maliyet çarpımının toplamından oluşmaktadır.

Projede her bir aktivite için seçilebilecek çok sayıda alternatif seçenek vardır. Proje faaliyetlerinin sayısı n ise ve seçilecek her faaliyet için k alternatif varsa, o zaman çok geniş bir arama uzayı ile sonuçlanan k^n kadar çözüm mevcuttur. Bu nedenle, etkin bir evrimsel algoritma kullanılarak en optimum çözüme ulaşılması gerekmektedir (Pour vd., 2012). Bu durum yukarıda bahsedilen zaman-maliyet ödünleşim problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu problemin çözümü ile ilgili çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır.

1.5. Optimizasyon

Zaman-maliyet optimizasyonu (Time-Cost Optimization “TCO”) aslında iki amaçlı bir optimizasyon problemidir ve bir projenin zamanını ve toplam maliyetini aynı anda en aza (optimum değere) indirme sürecidir (Zheng, 2004). Bu süreçte lokal ve global optimizasyon olmak üzere iki ayrı kavram mevcuttur (Yang, 2013). Lokal optimizasyon çözüm kümesi içerisinde sadece belirli bir alan içindeki en optimum sonuca ulaşmaktır. Global optimizasyon ise tüm çözüm kümesi içerisinde en optimum sonuca ulaşmaktır.

Optimizasyon için literatürde çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Bunlar deterministik ve stokastik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Yang, 2013).

1.5.1. Deterministik Yöntemler

Bir algoritma rastgele yapısı olmadan mekanik olarak çalışmaktaysa bu algoritma deterministik olarak adlandırılır. Böyle bir algoritma ile aynı başlangıç noktasından çözüme başlandığında aynı son çözüme ulaşılabilecektir (Yang, 2013). Deterministik algoritmalar tek boyutlu ve çok boyutlu olmak üzere iki gruba ayrılabilirler (Qing, 2009).

Bu yöntemler küçük aktiviteli projelerde başarılı sonuçlar verse de büyük ve çok fazla aktiviteli projelerde çok uzun zaman alarak verimsiz kalmaktadırlar (Maturana vd., 1997; Dağ, 2012).

1.5.2. Stokastik Yöntemler

Stokastik optimizasyon algoritmaları genelde matematiksel olarak deterministik algoritmalarından daha basittir ve genellikle doğadan ilham almaktadır (Qing, 2009). Öte yandan, algoritmada rastgelelikler varsa, aynı başlangıç noktasından başlanacak olsa bile algoritma her çalıştırıldığında farklı bir sonuca ulaşabilmektedir. Bu tür algoritmalara sezgisel (heuristik) veya meta-sezgisel (meta-heuristik) algoritmalar denilmektedir (Yang, 2013).

1.5.2.1. Sezgisel Algoritmalar

Sezgisel algoritmalar da kendi içerisinde iki kategoriye ayrılmaktadırlar. Bunlar algoritmanın ilk olarak oluşturulup kullanılması ile ilgili olan yapıcı sezgisel (constructive heuristics) ve daha önce oluşturulan algoritmanın daha iyi performans göstermesi amacıyla oluşturulan geliştirici sezgisel (improvement heuristics) algoritmalar olmaktadır (Ruiz ve Moroto, 2005).

1.5.2.2. Meta-Sezgisel (Meta-heuristic) Algoritmalar

Meta-sezgisel algoritmalar, belirli bir kalite ölçüsüne göre aday bir çözümü geliştirmeye çalışarak problemi yinelemeyle optimize etmeye çalışır. Bu algoritmalar, sorunun optimize edilmesine ilişkin neredeyse hiçbir varsayımda bulunmaz ve aday çözümleri çok geniş bir alanda arayabilir. Buna rağmen meta-sezgisel algoritmalar en uygun çözümü garanti etmemektedirler. Meta-sezgisel yaklaşımlar, dünyadaki birçok karmaşık problemi çözmek için en pratik yaklaşımlar olarak bilinmektedirler. Bu algoritmalar, bir ilk çözüm veya bir ilk çözüm kümesi elde ederek arama sürecini başlatır ve daha sonra belirli prensipler tarafından yönlendirilen aramayı geliştirir ve problemlerin iyi çözümlerini bulmaya çalışır. Üretim süreçleri birçok optimizasyon problemi içerdiğinden, meta-sezgisel algoritmalar üretim planlama, planlama, rotalama gibi üretim problemlerinin optimizasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Onar vd., 2016). Meta-sezgisel yöntemler genellikle iki aşamada faaliyetlerini gerçekleştirirler. İlk aşamada, algoritma tüm çözüm alanını araştırarak bir çeşitlendirme sürecini gerçekleştirir. İkinci aşamada ise arama optimal çözüm etrafında olması beklenen küçük bir alanda yoğunlaştırılır (Talbi vd., 2016). Meta-sezgisel algoritmalar aşağıda belirtilen özelliklere sahiptirler.

- Kullandığı komşuluk yapısı,
- Çözümlerin hafızada tutulması,
- Esinlenen kaynaklar,
- Aramada kullanılan çözüm sayısı,
- Kullanılan amaç fonksiyonu,

Bunlar içerisinde en önemli görülen özellik mevcut çözümlerin hafızada tutulması özelliğidir. Bu durum meta-sezgisel yöntemleri diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliktir (Canayaz, 2015).

Öte yandan meta-sezgisel yöntemler optimizasyon sonucunda tek bir sonucun olduğu yörünge temelli meta-sezgisel ve bir çözüm havuzunun olduğu popülasyon temelli meta-sezgisel yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Talbi vd., 2016).

Hem sezgisel algoritmalar hem de meta-sezgisel algoritmalar genellikle doğadan ilham alınarak oluşturulmuşlardır. Gruplama açısından; biyoloji, fizik, sürü, sosyal, müzik, kimya ve melez yöntemler olmak üzere yedi farklı gruba ayrılabilirler (Akyol ve Alataş, 2012). Literatürde kullanılan başlıca meta-sezgisel yöntemler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Talbi vd., 2016; Yang, 2013; Desale vd., 2015; Canayaz, 2015).

Tablo 4. Meta sezgisel algoritmaların tarihi

Sıra No	Kısaltma	Algoritma İsmi	Yılı	Geliştiren Kişi(ler)
1	GA	Genetik Algoritma	1970	J. Holland , K. DeJong, D. Goldberg
2	SA	Benzetilmiş Tavlama Algoritması [Simulated Annealing]	1983	Scott Kirkpatrick, C. Daniel Gelatt, Mario P. Velachi
3	TS	Tabu Arama Algoritması [Tabu Search]	1986	Fred W. Glover
4	SI	Sürü Zekası [Swarm Intelligence]	1989	Jing Wang, Gerardo Beni
5	ACO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu [Ant Colony Optimization]	1992	Marco Dorigo
6	PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu [Partical Swarm Optimization]	1995	James Kennedy, Russell Eberhart
7	DE	Diferansiyel Evrim Algoritması [Differential Evolution]	1997	R. Storn and K. Price
8	HS	Uyum Arama Algoritması [Harmony Search]	2001	Zong Woo Geem
9	HA	Hibrid Algoritma [Hybrid Algorithm]	2003	Detcher, Rina, Morgan Kanfumann
10	ABC	Yapay Arı Kolonisi Algoritması [Artificial Bee Colony Algorithm]	2005	Karaboga
11	FA	Ateş Böceği Algoritması [Firefly Algorithm]	2007	Xin-She Yang
12	IHS	Geliştirilmiş Uyum Arama [Improved Harmony Search]	2007	M. Mahdavi et al., Fesanghary M, and Damangir E
13	CSA	Guguk Kuşu Arama Algoritması [Cuckoo Search Algorithm]	2009	Xin-She Yang, Suash Deb
14	BSA	Yarasa Arama Algoritması [Bat Search Algorithm]	2010	Xin-She Yang

Tablo 4'ün devamı

Sıra No	Kısaltma	Algoritma İsmi	Yılı	Geliştiren Kişi(ler)
15	TLBO	Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon [Teaching-Learning-Based Optimization]	2011	R.V. Rao, V.J. Savsani, D.P. Vakharia
16	FOA	Meyve Sineği Optimizasyonu Algoritması [Fruit Fly Optimization Algorithm]	2011	Wen-Tsao Pan
17	MBO	Göçmen Kuş Optimizasyon Algoritması [Migrating Bird Optimization Algorithm]	2012	Ekrem Duman, Mital Uysal, Ali Fuat
18	CA	Cırcır Böceği Algoritması [Cricket Algorithm]	2015	Murat Canayaz, Ali Karcı

Zaman-maliyet ödünleşim problemleri ile ilgili araştırmalar ilk kez 1961 yılında Kelly tarafından yapılmıştır. Birçok araştırmacı, 1961'den itibaren araştırmanın esas olarak deterministik vakalara odaklandığını kabul etmiştir (Biswas, 2016). Uygulamada zaman-maliyet ödünleşim problemleri için deterministik yöntemler kullanılabilmesine rağmen büyük ölçekli projelerde bunların uygulanması çok aşırı çaba ve zaman gerektirmesi nedeniyle verimli olmamaktadır (Kandil ve Rayes, 2005). Bundan dolayı deterministik yöntemlerden hiçbiri, çok sayıda faaliyeti olan gerçek projeleri çözmeye yeterli değildir (Pour vd., 2012). Ancak meta-sezgisel yöntemler günümüzde daha yaygın kullanılan ve farklı problemlere daha kolaylıkla uyarlanabilen yöntemlerdir (Yücel ve Bettemir, 2017). Meta-sezgisel algoritmalar çözüm uzayını tarayarak optimum veya optimuma yakın değerlere ulaşmaya çalışması nedeniyle daha kullanışlıdır (Albayrak ve Özdemir, 2016).

Zaman-maliyet ödünleşim problemleri için en çok kullanılan meta-sezgisel yöntemlerden biri genetik algoritma yöntemidir (Feng vd., 1997; Zheng, 2004; Sönmez ve Bettemir, 2012). Yapılan bu çalışmalar GA'nın bu problem çözümünde etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca zor optimizasyon problemleri için, herhangi bir zamanda GA'lar hem en iyi çözümlerin kullanılması hem de arama alanının keşfedilmesini sağladığı için mevcut yönlendirilmiş arama yöntemlerinden daha güçlü performans sağlamaktadır.

Bu yönteme ek olarak son yıllarda popüler olmaya başlayan Öğretme-öğrenmeye dayalı optimizasyon (Teaching-Learning Based Optimization – TLBO¹) yöntemi de zaman-maliyet

¹ Literatürde İngilizcesinin baş harflerinin birleşiminden oluşan kısaltması kullanıldığı için bu çalışmada da İngilizce kısaltmanın kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

ödünleşim probleminde optimizasyon algoritması olarak kullanılmaya başlanmıştır (Zheng vd., 2017; Toğan ve Eirgash, 2019a)

Tablo 4’de bir kısmı verilebilen meta-sezgisel algoritmalar çok fazla sayıdadır ve hala araştırmacılar tarafından yenileri geliştirilmektedir. Bu çalışmada meta-sezgisel yöntemlerden GA ve TLBO yöntemleri kullanılmaktadır.

1.5.2.2.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA) Darwin’in Evrim teorisinde “güçlü bireyler hayatta kalır” felsefesine bağlı olarak Holland tarafından 1975’te geliştirilmiştir (Goldberg, 1989).

GA doğal genetik ve doğal seleksiyon prensiplerine dayanmaktadır. GA araştırma prosedüründe doğal genetiğin temel unsurları (üreme, çaprazlama ve mutasyon) kullanılır. GA'lar, aşağıdaki açılardan geleneksel optimizasyon yöntemlerinden farklıdır (Rao,2009).

1. Optimizasyona tek bir noktadan başlamak yerine birçok noktadan oluşan bir popülasyon ile başlanılmaktadır. Birkaç nokta aday çözümler olarak kullanıldığından, GA'ların yerel bir optimumda tuzağa düşme olasılığı daha düşüktür.

2. GA'lar sadece amaç fonksiyonu olarak bilinen ve problemin çözümü sonucunda en aza/en çoka indirilmeye/çıkarılmaya çalışılan değeri kullanır. Arama prosedüründe türevler kullanılmaz.

3. GA'lar, hem ayrık hem de tamsayılı değişkene sahip optimizasyon problemlerinin çözümü için uygulanabilmektedir.

4. Bir çözüm vektörüne karşılık gelen amaç fonksiyonu değeri, doğadaki uygunluğun rolünü üstlenmektedir.

5. Her jenerasyonda, rastgele ebeveyn seçimi ve çaprazlama kullanılarak eski nesillerden yeni nesiller üretilir. Rastgele olmasına rağmen, GA'lar basit rastgele arama teknikleri değildir. Daha iyi uygunluk veya amaç fonksiyonu değerlerine sahip olan bireyler ile yeni nesil kombinasyonları oluşturmaktadır.

GA işleyişi çok basittir; dizeleri kopyalamaktan ve kısmi dizeleri değiştirmekten daha karmaşık bir şey içermemektedir. Genel olarak, bir GA potansiyel mevcut iyi çözüm popülasyonunu koruyarak çok yönlü bir arama yapar ve yeni sonuçlar ile eski sonuçlar arasında

karşılaştırma yapılmasını teşvik eder. Bu durum popülasyonda bir evrime neden olur ve her nesilde nispeten iyi çözümler üretilirken, nispeten kötü çözümler ölür (Michalewicz ve Janikow, 1991). Bu algoritma aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır (Holland, 1992; Goldberg, 1989; Rao, 2009; Portmann ve Vignier, 2008; Gen ve Cheng, 2000).

1. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması (Initial population),
2. Amaç fonksiyonunun belirlenmesi (Objective function),
3. Yeniden üreme (Reproduction),
4. Çaprazlama (Crossover),
5. Mutasyon (Mutation),
6. Belirlenen hedef veya kritere kadar iterasyon ile evrimleşme.

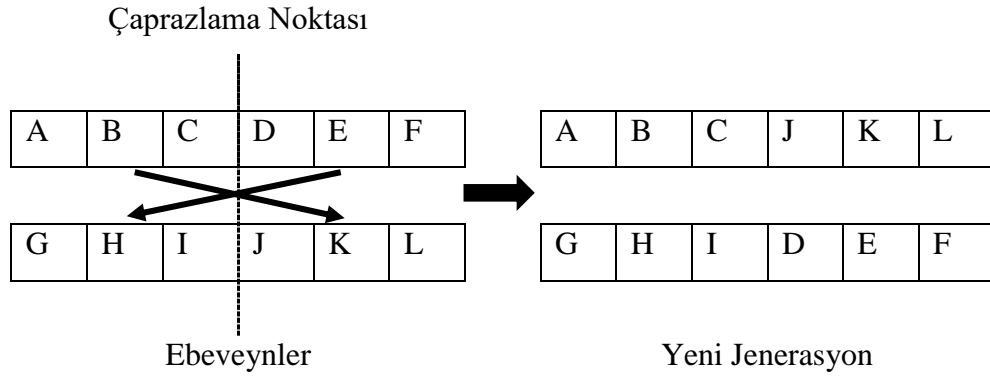
Öncelikle bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Başlangıç popülasyonu oluşturmanın rastgele ve sezgisel olmak üzere iki yolu vardır. İlkinde, tüm bireyler rastgele üretilir. İkincisinde ise bireyler bir önbilgiye göre belirlenmektedirler (Gen ve Cheng, 2000).

Ardından amaç fonksiyonuna göre başlangıç popülasyonundaki güçlü bireyler belirlenir. Bu aşamada popülasyondaki bireylerin uyum değerleri hesaplandıktan sonra bunlar arasından güçlü olan bireyler ebeveyn olarak belirlenirler.

Yeniden üreme, bir çiftleşme havuzu oluşturmak için popülasyonun iyi dizelerini (tasarımlarını) sıralayan ilk işlemdir. Üreme operatörü aynı zamanda seçim operatörü olarak da bilinir, çünkü popülasyonun iyi karakterlerini seçer. Mevcut popülasyon içinden ebeveynleri seçerek bunlardan belirli prosedürlere göre yeni bireyler üretme aşamasıdır (Rao, 2009). Ebeveynlerin seçim işlemi belli başlı yöntemlere göre yapılmaktadır. Bunların bazıları aşağıda verilmiştir (Gen ve Cheng, 2000).

- Rulet tekerleği yöntemi (Roulette wheel)
- $(\mu+\lambda)$ seçimi, $((\mu+\lambda)$ selection)
- Turnuva seçimi, (Tournament)
- Denge durumlu üreme, (Steady-state reproduction),
- Sıralama ve ölçeklendirme (Ranking and scaling),
- Paylaşma (Sharring)

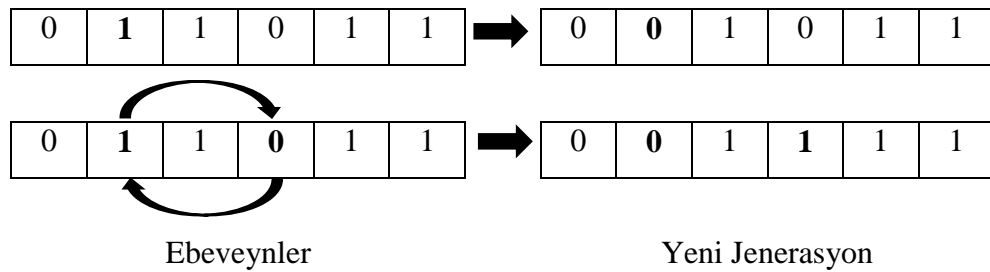
Çaprazlama mekanizması, seçilen ebeveynlerin bireysel kromozomlarını birleştirerek yeni bireyler oluşturma işlemidir (Şekil 7).



Şekil 7. Basit çaprazlama mekanizması

Yukarıdaki basit çaprazlama seçeneğine ek olarak uniform çaprazlama, kes-ekle çaprazlama, kısmi planlı çaprazlama, sıralı çaprazlama, pozisyon tabanlı çaprazlama, sıra tabanlı çaprazlama, dairesel çaprazlama ve sezgisel çaprazlama gibi birçok farklı çaprazlama tipleri mevcuttur (Gen ve Cheng 2000; Altay, 2007).

Mutasyon, seçilen bir kromozomun bir veya daha fazla genini mutasyon oranına eşit olasılıkla rastgele bir değişiklik yaparak keyfi olarak değiştirir. Mutasyon operatörünün arkasındaki mantık, popülasyona bazı ekstra değişiklikler getirilmesidir (Michalewicz ve Janikow, 1991; Holland, 1992). Temel amacı, kayıp değerleri popülasyona tekrar kazandırmaktır. Mutasyon oranları 0,01 ile 0,001 değerleri arasındadır. GA çalışması sırasında mutasyon oranını değiştirmek faydalı olabilmektedir. Özellikle, optimizasyonun son aşamasında, popülasyondaki azalan çeşitlilik nedeniyle çaprazlamanın etkinliğini yitirdiğinde, mutasyonun önemi artar ve daha yüksek mutasyon oranı faydalı olabilmektedir (Biethahn ve Nissen, 1995). Şekil 8 mutasyonunun uygulanış biçimini örneklemektedir.



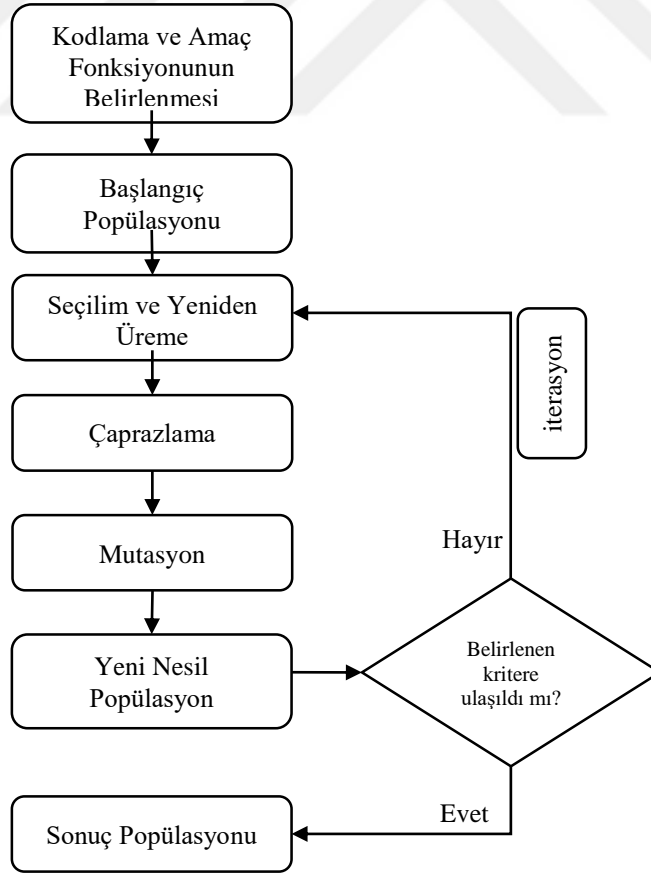
Şekil 8. Mutasyon örnekleri

Yukarıda örneği verilen mutasyonun çok farklı uygulanış biçimleri mevcut olup, bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir (Gen ve Cheng, 2000).

- Sınır operatörleri (Boundary operators)
- Yön tabanlı geçiş (Direction-based crossover)
- Tek tip mutasyon (Non uniform mutation)
- Yön mutasyonu (Directional mutation)
- Gauss mutasyonu (Gaussian mutation)

Genetik algoritma ile optimizasyonun son aşamasında belirlenen sayıya, hedefe veya amaca ulaşıncaya kadar iterasyon yapılmaktadır.. İterasyonda algoritma yeniden üreme ile mutasyon arasındaki işlemleri tekrar eder ve popülasyonun daha iyi olmasını sağlamaya çalışır.

Genetik algoritma işleyişine ait akış şeması Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Genetik algoritma ile optimizasyon uygulama aşamaları

Genetik Algoritma çok sayıda değişkene ve kısıtlamaya sahip olan karmaşık bir problem için neredeyse optimal bir çözüm sunar. Bunun temel nedeni, popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı gibi optimum kontrol parametrelerinin belirlenmesindeki zorluktur. Bazen, parametrelerin seçimindeki zorluk, incelenen problemin karmaşıklığı ile daha da artar. Bu nedenle, algoritma parametrelerinden arınmış bir optimizasyon tekniğı geliştirme çabası ile birlikte Öğretme-öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (TLBO) algoritması başta olmak üzere çeşitli pek çok algoritma geliştirilmeye çalışılmıştır.

1.5.2.2.2. Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (TLBO)

Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (Teaching-Learning Based Optimization “TLBO”) insan öğrenme sürecini temel alarak geliştirilmiş bir algoritmadır. Diğer meta-sezgisel algoritmalar gibi, TLBO da popülasyon temelli bir yöntemdir ve küresel çözüme ulaşmak için bir çözüm popülasyonu kullanır (Rao vd., 2011). TLBO yöntemi, bir öğretmenin sınıftaki öğrencilerin çıktısı üzerindeki etkisinin verimine dayanmaktadır. Burada çıktı, öğrencilerin sınav sonucu aldıkları notlar açısından dikkate alınır. Öğretmen genellikle bilgisini öğrenenlerle paylaşan çok iyi öğrenmiş bir kişi olarak kabul edilir. Bir öğretmenin kalitesi, öğrencilerin eğitimini etkiler. İyi bir öğretmenin, öğrencileri iyi sonuçlar alabilecekleri şekilde eğittiğı kabul edilmektedir. Öğrenciler kendi aralarındaki etkileşimlerden de öğrenirler ve bu da sonuçlarının gelişmesine yardımcı olmaktadır (Rao vd., 2012a). Algoritma, öğretmenin ve sınıftaki öğrencilerin öğretme-öğrenme yeteneğini taklit eder (Rao vd., 2012b).

Bu optimizasyon algoritmasında, bir grup öğrenci popülasyon olarak kabul edilir ve öğrencilere sunulan farklı konular, optimizasyon probleminin farklı tasarım değişkenleri olarak kabul edilir. Bir öğrencinin sonucu, optimizasyon probleminin "uygunluk" değeri olarak alınır. Tüm popülasyondaki en iyi çözüm, öğretmen olarak kabul edilir. Tasarım değişkenleri aslında verilen optimizasyon probleminin amaç fonksiyonuna dahil olan parametrelerdir ve en iyi çözüm amaç fonksiyonunun en iyi değeridir (Rao ve Patel, 2012).

Öğretmen ve öğrenciler algoritmanın iki hayati bileşenidir. Algoritma öğrenmenin iki temel modunu esas almaktadır: (1) öğretmen (öğretme aşaması olarak bilinir) ve (2) diğer öğrencilerle etkileşim (öğrenme aşaması olarak bilinir) (Rao vd., 2012b).

Öğretme aşması (Teaching Phase) algoritmanın ilk bölümü olup, öğrenenlerin öğretmen aracılığıyla öğrendikleri bölümdür. Bu aşamada, bir öğretmen, yeteneğine bağlı olarak, öğrettiği konuda sınıfın ortalama sonucunu arttırmaya çalışır. Öğretmen genellikle toplumda en bilgili kişi olarak kabul edilmektedir. Bir öğretmenden genellikle ders verdiği sınıftaki öğrencilerden daha çok şey bilmesi beklenmektedir. Bu özellik, TLBO algoritması için önemlidir. Öğretmen en bilgili kişi olarak tanımlandığından çözüm kümesi içindeki bireylerden en iyi olanı öğretmen olarak kabul edilir. Öğretmenin amacı öğrencilerin bilgi seviyelerini arttırmaktır. Ancak öğrencilerinin bilgi seviyelerinin heterojen olması nedeniyle hepsini aynı seviyede arttıramamaktadır (Rao vd., 2012b). Öğrencilerin eğitilmesi birçok faktöre bağlı olarak rastgele gelişir.

Bu aşamada öncelikle amaç fonksiyonuna bağlı olarak en iyi birey belirlenir (X_{best}) ve bu birey öğretmen olarak tanımlanır. Ardından sınıf ortalaması (X_{ort}) hesaplanarak sınıfın ortalama bilgi düzeyi belirlenir. Öğretme aşaması aşağıdaki gibi devam etmektedir (Rao vd., 2011; Rao vd., 2012a; Rao vd., 2012b; Rao ve Patel, 2012; Rao-Kalyankar, 2012; Rao ve Patel, 2013).

$$\text{Ortalama Fark (OF}_i) = r_i * (X_{best} - T_F * X_{ort}) \quad (1.2)$$

Burada r_i 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıyı temsil etmektedir. T_F ise 1 ile 2 arasında bir rakamı temsil etmektedir. 1, öğretmenin öğrenciye herhangi bir bilgi aktarımında bulunmadığını, 2 ise bildiği tüm bilgileri aktardığı anlamına gelmektedir. Ardından elde edilen bu farka bağlı olarak popülasyondaki yeni bireyler aşağıdaki formül ile oluşturulur.

$$X_{yeni,i} = X_{eski,i} + OF_i \quad (1.3)$$

Oluşan yeni birey X_{yeni} daha önce öğretmen olan X_{best} 'den daha iyi ise öğretmen artık X_{yeni} olmaktadır, değilse öğretmen yine X_{best} olarak kalmaya devam etmektedir. Bu karşılaştırma ile öğretim aşaması tamamlanmaktadır.

Öğrenme Aşaması (Learning Phase) algoritmanın ikinci kısmı olup, öğrencilerin kendi aralarındaki etkileşimle bilgilerini arttırması aşamasıdır. Öğrenciler diğer öğrencilerle tartışarak ve onlarla etkileşime girerek bilgi edinebilirler. Bir öğrenci kendinden daha fazla bilgiye sahip

başka bir öğrenciden yeni bilgiler öğrenebilir. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Rao vd., 2011; Rao vd., 2012a; Rao vd., 2012b; Rao ve Patel, 2012; Rao ve Patel, 2013).

Rastgele seçilen iki öğrenci X_i ve X_j ($i \neq j$) için;

$$\begin{aligned} &\text{Eğer } X_i < X_j \\ &X_{\text{yeni},i} = X_{\text{eski},i} + r_i * (X_i - X_j) \end{aligned} \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} &\text{Değilse} \\ &X_{\text{yeni},i} = X_{\text{eski},i} + r_i * (X_j - X_i) \end{aligned} \quad (1.5)$$

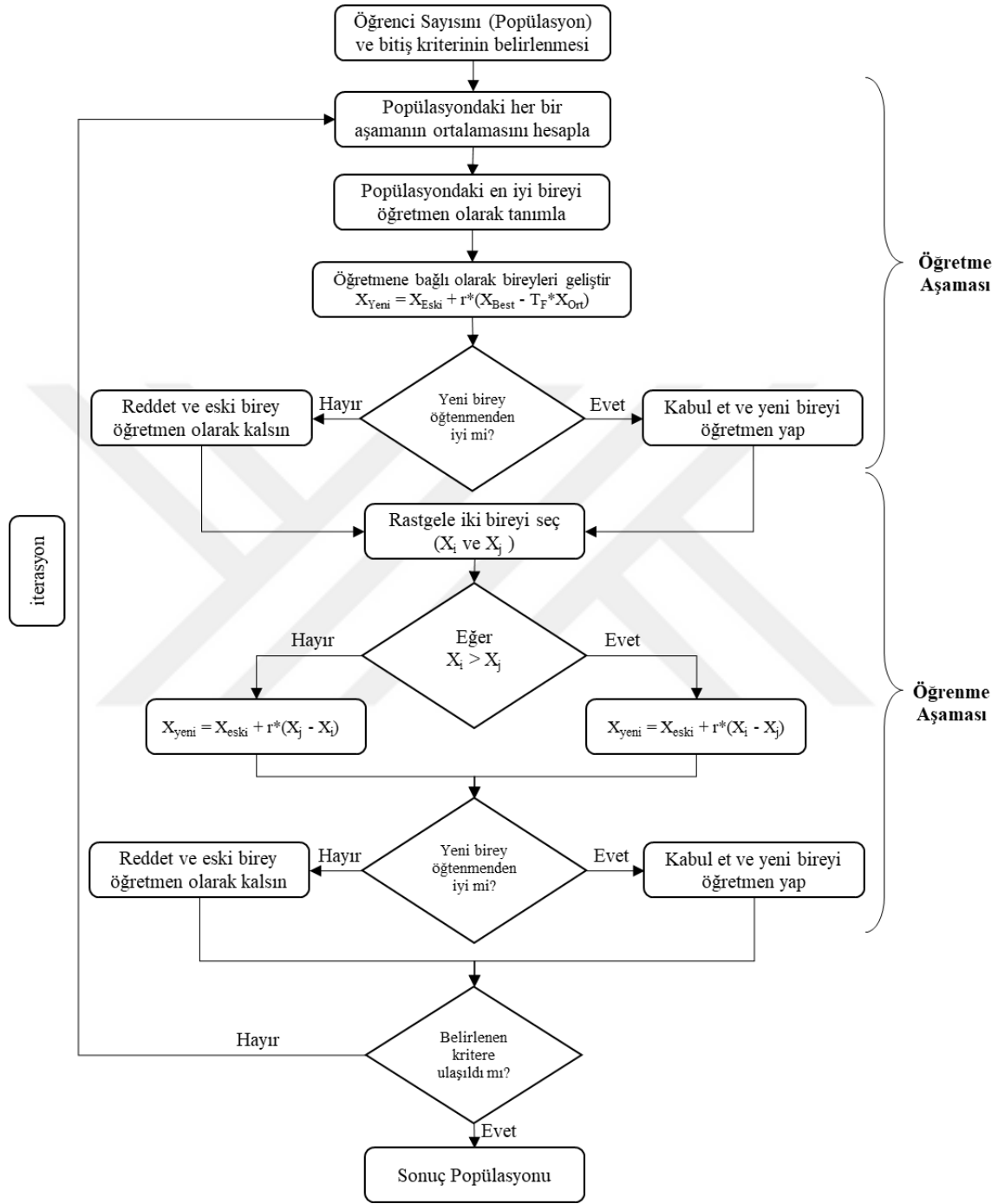
Bu işlem sonucunda oluşan X_{yeni} değeri daha iyi bir sonuca sahipse kabul edilir. Bu işlem popülasyondaki tüm bireyler için tekrar edilmektedir.

TLBO algoritması ile optimizasyonun aşamalarını gösteren akış şeması aşağıda gösterilmektedir.

Şekil 10'dan da görüldüğü üzere TLBO'nun öğretme ve öğrenme olmak üzere iki aşaması mevcuttur. Gerçekleştirilen iki aşama sonucunda daha önce belirtilen kritere ulaşılmışsa optimizasyon sonlanmakta, aksi takdirde ortalama hesaplama aşamasından tekrar edilmektedir.

TLBO'nun diğer optimizasyon yöntemlerine olan üstünlüğü optimizasyon aşamasında sadece genel kontrol parametrelerine (iterasyon sayısı, popülasyon büyüklüğü vb.) ihtiyaç duymasıdır. TLBO özel kontrol parametrelerine (Örn; GA için çaprazlama ve mutasyon oranları) ihtiyaç duymamaktadır (Rao ve Patel, 2013).

İster GA ister TLBO isterse herhangi bir meta-sezgisel algoritma kullanılsın, amaç fonksiyonu olarak bilinen değer bu optimizasyon algoritmalarının başarılı olmasında çok etkili olmaktadır.



Şekil 10. TLBO algoritması optimizasyonu süreci akış şeması

1.6. Amaç Fonksiyonu

Çok amaçlı zaman-maliyet ödünleşim problemlerinde elde edilen sonuçlarda zaman ve maliyet olarak iki adet çıktı mevcuttur. Bu çıktının problemlerin amaç fonksiyonu olarak dikkate alınan değerinde en küçük olacak şekilde düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu iki değişken genellikle birbiri ile zıt yönde hareket etmektedirler. Bu durumda hangi değişkenin minimum edileceği sorunu ortaya çıkmaktadır. Zadeh (1965) iki değişkene ağırlık verilerek tek değişkene indirilmesi önerisinde bulunmuştur. Bu durum etkili olmakla birlikte sadece ağırlık belirlenmesinin yeterli olmayacağı belirtilmektedir. Bunun sebebi sonuç çıktılarındaki büyük değişkenin her zaman daha etkin olacağıdır (Zheng vd., 2004). Bununla birlikte bu sorunun çözümü için son on yılda birçok araştırma yapılmıştır. Bunlardan bazıları (Gen ve Cheng, 2000).

1. Vektör değerlendirme yaklaşımı (Vector evaluation approach)
2. Ağırlık toplam yaklaşımı (Weighted-sum approach)
3. Pareto tabanlı yaklaşım (Pareto-based approach)
4. Uzlaşma yaklaşımı (Compromise approach)
5. Hedef programlama yaklaşımı (Goal programming approach)

Çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilen ilk yöntem vektör değerlendirme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda bir sonraki jenerasyonu oluşturmak için her bir kromozom değerlendirilmesi yerine vektör değerlendirilmesi yapılmaktadır. Ağırlık toplam yaklaşımında her bir amaç fonksiyona ağırlık atanır ve bunlar tek bir fonksiyonda birleştirilir. Kavramsal olarak anlaşılması ve hesaplanması kolaydır. Dolayısıyla sabit ağırlık yaklaşım (Fixed-Weight Approach), rassal ağırlık yaklaşım (Random-Weight Approach) ve uyarlanabilir ağırlık yaklaşım (Adaptive Weight Approach "AWA") olmak üzere üç farklı yöntem geliştirilmiştir (Gen ve Cheng, 2000).

Sabit ağırlık yaklaşımda, ağırlıklar tüm evrimsel süreç boyunca değişmeyecektir. Rassal ağırlık yaklaşımda ise ağırlıklar jenerasyon boyunca rastgele belirlenir. Bu yöntem, her nesil çözümlerinde mevcut olan bilgiyi dikkate almaz. Gen ve Cheng (2000) çözümü optimum noktaya yönlendirmek adına mevcut sonuçlardan ağırlıklar elde etmektedir. Bu durumun her jenerasyonda(nesilde) tekrar edilmesi ile ağırlığın uyarlanabilir olmasını sağlamaktadır. Böylece yaklaşım sabit ile rassal ağırlıklı yaklaşım arasında bir konumda olmaktadır (Gen ve Cheng, 2000).

Çok amaçlı optimizasyon için üretim ve tercih temelli yaklaşımlar olmak üzere iki temel yaklaşım mevcuttur. Vektör değerlendirme yaklaşımı, pareto tabanlı yaklaşım ve rastgele ağırlık yaklaşımı, üretim yöntemleri olarak tasarlanmıştır. Bunun yanında uzlaşma yaklaşımı, uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı ve hedef programlama yaklaşımı tercih tabanlı yaklaşımlar olarak tasarlanmıştır. Çok amaçlı optimizasyonlarda tercih temelli yaklaşımlar daha kolay uygulanabilir olmaktadır (Gen ve Cheng, 2000).

Uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı (AWA) uygulama açısından daha kolay ve daha etkili olması nedeniyle bu çalışmada çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı olarak AWA yöntemi tercih edilmiştir.

1.7. Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı (Adaptive Weight Approach “AWA”)

Uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı için öncelikle her jenerasyonda incelenen çözümler için iki uç nokta tanımlanır: maksimum uç nokta Z^+ ve minimum uç nokta Z^- olan bu noktalar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Gen ve Cheng,2000; Zheng vd., 2004).

$$\begin{aligned} Z^+ &= \{Z_c^{\max}, Z_t^{\max}\} \\ Z^- &= \{Z_c^{\min}, Z_t^{\min}\} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Burada Z_c^{\max} ve Z_t^{\max} mevcut popülasyon içindeki en yüksek maliyeti ve zamanı temsil ederken Z_c^{\min} ve Z_t^{\min} ise mevcut popülasyon içindeki en düşük maliyeti ve zamanı temsil etmektedirler. Zaman ve maliyet değerlerine verilecek ağırlıklar aşağıdaki gibi formülize edilmektedir (Zheng vd.,2004; Gen ve Cheng,2000).

$$\begin{aligned} W_c &= 1/(Z_c^{\max} - Z_c^{\min}) \\ W_t &= 1/(Z_t^{\max} - Z_t^{\min}) \end{aligned} \quad (1.7)$$

$$\begin{aligned} W_c &= 1/(Z_c^{\max} - Z_c^{\min}) \\ W_t &= 1/(Z_t^{\max} - Z_t^{\min}) \end{aligned} \quad (1.8)$$

Burada W_c maliyetin ağırlığını W_t ise zamanın ağırlığını temsil etmektedir. Ağırlıklar belirlendikten sonra zaman ve maliyet olarak elde edilen sonuçlar, aşağıda verilen AWA formülleri aracılığı ile tek değişkene indirgenmektedir (Gen ve Cheng, 2000).

$$F(x) = \sum_{i=1}^q [W_c^*(Z_{(c,i)} - Z_c^{\min}) + W_t^*(Z_{(t,i)} - Z_t^{\min})] \quad (1.9)$$

$$F(x) = \sum_{i=1}^q \left[\frac{Z_{(c,i)} - Z_c^{\min}}{Z_c^{\max} - Z_c^{\min}} + \frac{Z_{(t,i)} - Z_t^{\min}}{Z_t^{\max} - Z_t^{\min}} \right] \quad (1.10)$$

Burada $F(x)$, tek değişkene indirgenen amaç fonksiyonu değerini ifade etmektedir. Z_c , ilgili maliyeti, Z_t ilgili zamanı, Z_c^{\max} ve Z_c^{\min} değerleri maksimum ve minimum maliyet değerlerini, Z_t^{\max} ve Z_t^{\min} maksimum ve minimum zaman değerlerini, W_c maliyetin ağırlığını, W_t ise zamanın ağırlığını temsil etmektedir.

AWA formüllerinin işleyişi ile ilgili bazı sakıncalar olduğu bilinmektedir (Zheng vd., 2004). Bunlar;

1. W_c ve W_t 'nin toplamları 1'e eşit olmadığı için W_c ve W_t değerleri ağırlıktan ziyade sadece iki parametredir,
2. Eğer $Z_c^{\max} = Z_c^{\min}$ veya $Z_t^{\max} = Z_t^{\min}$ ise W_c ve W_t ağırlıkları anlamsız olmaktadır,
3. Ağırlıklar büyük ölçüde zamanın ve maliyetin ifade edildiği birime bağlıdır, bu da birim etkisinin fazlaca hissedilebileceği kanısını getirmektedir.

Yukarıda bahsedilen bu eksikliklerden dolayı Zheng vd. (2004) tarafından Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı (Modified Adaptive Weight Approach "MAWA") geliştirilmiştir.

1.8. Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı (Modified Adaptive Weight Approach “MAWA”)

Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımı (Modified Adaptive Weight Approach “MAWA”) AWA'nın eksikliklerini gidermek amacıyla dört farklı duruma göre aşağıdaki gibi yeniden formülize edilmiştir (Zheng vd., 2004).

$$1. \quad Z_c^{\max} \neq Z_c^{\min} \text{ ve } Z_t^{\max} \neq Z_t^{\min}$$

$$\begin{aligned} U_c &= \frac{Z_c^{\min}}{(Z_c^{\max} - Z_c^{\min})} \\ U_t &= \frac{Z_t^{\min}}{(Z_t^{\max} - Z_t^{\min})} \\ W_c &= U_c / (U_c + U_t) \\ W_t &= U_t / (U_c + U_t) \\ W_c + W_t &= 1 \end{aligned} \tag{1.11}$$

$$2. \quad Z_c^{\max} = Z_c^{\min} \text{ ve } Z_t^{\max} = Z_t^{\min}$$

$$\begin{aligned} W_c &= 0,5 \\ W_t &= 0,5 \end{aligned} \tag{1.12}$$

$$3. \quad Z_c^{\max} \neq Z_c^{\min} \text{ ve } Z_t^{\max} = Z_t^{\min}$$

$$\begin{aligned} W_c &= 0,1 \\ W_t &= 0,9 \end{aligned} \tag{1.13}$$

$$4. \quad Z_c^{\max} = Z_c^{\min} \text{ ve } Z_t^{\max} \neq Z_t^{\min}$$

$$\begin{aligned} W_c &= 0,9 \\ W_t &= 0,1 \end{aligned} \tag{1.14}$$

$$F(X) = W_t * \left(\frac{Z_t - Z_t^{\min} + q}{Z_t^{\max} - Z_t^{\min} + q} \right) + W_c * \left(\frac{Z_c - Z_c^{\min} + q}{Z_c^{\max} - Z_c^{\min} + q} \right) \quad q = 0,001 \quad (1.15)$$

Çok amaçlı zaman-maliyet optimizasyonu problemlerinin çözüm başarısında amaç fonksiyonunun çok etkili olduğu yukarıda belirtilmiştir. Amaç fonksiyonu iki değişkenin tek değişkene indirilmesi ve elde edilen bu değişkenin en küçüklenmesi şeklinde kurulmaktadır. Dolayısıyla MAWA yaklaşımı literatürde etkin olarak kullanılmaktadır. MAWA'nın farklı şekillerde geliştirilebileceği düşünülerek bu çalışmada alternatif 4 farklı yöntem (MAWA_O1, MAWA_O2, MAWA_O3, MAWA_O4) üzerinde çalışılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Çok amaçlı zaman-maliyet ödünleşim problemlerinin optimizasyon sürecinde zaman ve maliyet değerleri çeşitli yaklaşımlar ile tek değişkene indirilmektedir. Bu konuda yukarıda da bahsedildiği gibi birkaç yöntem mevcuttur. En çok kullanılanlardan biri son bölümde ayrıntılı olarak açıklanan MAWA'dır. Ancak MAWA'nın optimizasyon performansının artırılması amacıyla geliştirilebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu bölümde MAWA'ya alternatif olacak 4 farklı yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımları geliştirilerek bunların ayrıntıları verilmiştir. Ardından yeni geliştirilen yaklaşımların ve MAWA'nın karşılaştırmalı performans analizleri yapılmıştır. Analiz için GA ve TLBO yöntemleri kullanılmıştır.

Bu doğrultuda yaklaşımların performansları öncelikle birbirleriyle ve orijinal MAWA ile karşılaştırılmış daha sonra teknik literatürde verilen ilgili global optimum sonuçlara göre değerlendirilmiştir. Son olarak çalışmada önerilen yaklaşımların performanslarına farklı optimizasyon algoritmasının etkisi incelenmiştir.

2.2. Yeni Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımları

Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımının (MAWA) geliştirilebileceği düşüncesinden hareketle aşağıda MAWA'ya alternatif olarak geliştirilen yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarına (MAWA_O1, MAWA_O2, MAWA_O3, MAWA_O4) ait fonksiyonların aşamaları ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

2.2.1. Yaklaşım 1 (MAWA_O1)

MAWA popülasyondaki tüm bireyler için tek bir ağırlık kullanmaktadır. Bu durum her birey için farklı ağırlık kullanılarak geliştirilebilir. Bu noktadan hareketle MAWA_O1 aşağıda verilen formüller ile her bireye ayrı ağırlık hesaplayacak şekilde geliştirilmiştir.

$$1. \quad Z_c^{\max} \neq Z_c^{\min} \text{ ve } Z_t^{\max} \neq Z_t^{\min}$$

$$\begin{aligned} U_c &= Z_c / (Z_c^{\max} - Z_c^{\min}) & W_c &= U_c / (U_c + U_t) \\ U_t &= Z_t / (Z_t^{\max} - Z_t^{\min}) & W_t &= U_t / (U_c + U_t) \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$2. \quad Z_c^{\max} = Z_c^{\min} \text{ ve } Z_t^{\max} = Z_t^{\min}$$

$$\begin{aligned} W_c &= 0,5 \\ W_t &= 0,5 \end{aligned} \quad (1.17)$$

$$3. \quad Z_c^{\max} \neq Z_c^{\min} \text{ ve } Z_t^{\max} = Z_t^{\min}$$

$$\begin{aligned} W_c &= 0,1 \\ W_t &= 0,9 \end{aligned} \quad (1.18)$$

$$4. \quad Z_c^{\max} = Z_c^{\min} \text{ ve } Z_t^{\max} \neq Z_t^{\min}$$

$$\begin{aligned} W_c &= 0,9 \\ W_t &= 0,1 \end{aligned} \quad (1.19)$$

$$F(x) = W_t * \left(\frac{Z_t - Z_t^{\min} + q}{Z_t^{\max} - Z_t^{\min} + q} \right) + W_c * \left(\frac{Z_c - Z_c^{\min} + q}{Z_c^{\max} - Z_c^{\min} + q} \right) \quad (1.20)$$

2.2.2. Yaklaşım 2 (MAWA_O2)

MAWA formüllerindeki maximum ve minimum değerlerin farkları alınarak $F(x)$ değeri hesaplanmaktadır. MAWA_O2 de popülasyondaki zaman ve maliyetlerin ortalamaları alınarak bireyin ortalamasının üzerinde veya altında olma durumuna göre $F(x)$ değeri aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$1. \quad Z_t \geq Z_t^{\text{ort}} \text{ ve } Z_c \geq Z_c^{\text{ort}}$$

$$\begin{aligned} U_c &= Z_c / Z_c^{\text{ort}} & W_c &= U_c / (U_c + U_t) \\ U_t &= Z_t / Z_t^{\text{ort}} & W_t &= U_t / (U_c + U_t) \end{aligned} \quad (1.21)$$

$$2. \quad Z_t < Z_t^{\text{ort}} \text{ ve } Z_c < Z_c^{\text{ort}}$$

$$\begin{aligned} U_c &= Z_c / Z_c^{\text{min}} & W_c &= U_c / (U_c + U_t) \\ U_t &= Z_t / Z_t^{\text{min}} & W_t &= U_t / (U_c + U_t) \end{aligned} \quad (1.22)$$

$$3. \quad Z_t \geq Z_t^{\text{ort}} \text{ ve } Z_c < Z_c^{\text{ort}}$$

$$\begin{aligned} U_c &= Z_c / Z_c^{\text{min}} & W_c &= U_c / (U_c + U_t) \\ U_t &= Z_t / Z_t^{\text{ort}} & W_t &= U_t / (U_c + U_t) \end{aligned} \quad (1.23)$$

$$4. \quad Z_t < Z_t^{\text{ort}} \text{ ve } Z_c \geq Z_c^{\text{ort}}$$

$$\begin{aligned} U_c &= Z_c / Z_c^{\text{ort}} & W_c &= U_c / (U_c + U_t) \\ U_t &= Z_t / Z_t^{\text{min}} & W_t &= U_t / (U_c + U_t) \end{aligned} \quad (1.24)$$

$$F(x) = W_t * \left(\frac{Z_t}{Z_t^{\text{ort}}} \right) + W_c * \left(\frac{Z_c}{Z_c^{\text{ort}}} \right) \quad (1.25)$$

2.2.3. Yaklaşım 3 (MAWA_O3)

MAWA fonksiyonlarındaki zaman ve maliyet değerlerinin ham olarak alınması, rakamların ölçek(birim) büyüklüğünden dolayı sorunlara neden olabilmektedir. Ayrıca MAWA fonksiyonlarının seçimi kritere bağlı olduğundan çözüm zamanının uzamasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı zaman ve maliyet değerlerinin aynı ölçekte olacak şekilde standardize edilerek yeni bir F(x) değerinin hesaplanması daha faydalı sonuç verebilir. Buradan hareketle oluşturulan MAWA_O3 aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$S_c = \frac{Z_c}{Z_c^{\text{max}}} \quad (1.26)$$

$$S_t = \frac{Z_t}{Z_t^{\text{max}}}$$

$$F(x) = S_c + S_t + \left(\frac{S_c}{S_t} \right) \quad (1.27)$$

2.2.4. Yaklaşım 4 (MAWA_O4)

MAWA'da ağırlıklar hesaplanırken popülasyon içerisindeki en küçük zaman ve maliyetler kullanılmaktadır. Bu durum MAWA_O4'te değiştirilerek ağırlıklar daha farklı hesaplanmaktadır. Bu şekilde oluşturulan ağırlıkların daha verimli olabileceği düşünülmektedir. Bundan dolayı orijinal MAWA'daki Z^{min} değerleri yerine Z değerleri kullanılmaktadır. Ayrıca MAWA_O1'den farklı olarak ölçüt kriterinde maksimum minimum eşitsizliği yerine ortalamanın üzerinde olması durumu ele alınmıştır. Oluşturulan yöntem aşağıdaki gibidir.

1. $Z_t \geq Z_t^{\text{ort}}$ ve $Z_c \geq Z_c^{\text{ort}}$

$$U_c = \frac{Z_c}{(Z_c^{\text{max}} - Z_c^{\text{min}})} \quad U = U_c + U_t \quad (1.28)$$

$$U_t = Z_t / (Z_t^{\max} - Z_t^{\min}) \quad W_c = U_c / U$$

$$W_t = U_t / U$$

$$2. \quad Z_t < Z_t^{\text{ort}} \text{ ve } Z_c < Z_c^{\text{ort}}$$

$$W_c = 0,5$$

$$W_t = 0,5 \quad (1.29)$$

$$3. \quad Z_t \geq Z_t^{\text{ort}} \text{ ve } Z_c < Z_c^{\text{ort}}$$

$$W_c = 0,1$$

$$W_t = 0,9 \quad (1.30)$$

$$4. \quad Z_t < Z_t^{\text{ort}} \text{ ve } Z_c \geq Z_c^{\text{ort}}$$

$$W_c = 0,9$$

$$W_t = 0,1 \quad (1.31)$$

$$F(x) = W_t * \left(\frac{Z_t - Z_t^{\min} + q}{Z_t^{\max} - Z_t^{\min} + q} \right) + W_c * \left(\frac{Z_c - Z_c^{\min} + q}{Z_c^{\max} - Z_c^{\min} + q} \right) \quad (1.32)$$

Gerek TLBO ile gerekse GA ile optimizasyon yapılırken elde edilen popülasyonun içinden en iyi bireylerin belirlenmesine yukarıda ayrıntılı bir şekilde açıklanan farklı MAWA formüllerinden yararlanılmaktadır. Bundan dolayı zaman ve maliyet değişkenleri farklı MAWA formülleri ile $F(x)$ ile gösterilen tek değişkene düşürülmektedir. Algoritmalar $F(x)$ değeri en düşük bireyi en iyi birey olarak kabul etmektedir. Dolayısıyla $F(x)$ değerinin farklı yöntemlerle hesaplanması en iyi bireyi de değiştirebilmektedir. Bu durum optimizasyonun başarısını doğrudan etkilemektedir.

GA ile belirlenen en iyi iki bireyden yeni bireyler oluşturulurken, TLBO'da ise en iyi birey öğretmen olarak kabul edilerek bu bireye bağlı yeni bireyler oluşturulmaya çalışılmaktadır.

Tablo 5’de 7 aktiviteli yapım projesinin rastgele seçilen yapım işi alternatifleri socunu oluşturan zaman ve maliyet değerleri ile bu değerlere bağlı olarak farklı MAWA formülleri ile hesaplanan $F(x)$ değerleri verilmektedir.

Tablo 5. GA optimizasyonunda farklı MAWA fonksiyonlarının seçim sonuçları

Popülasyon							Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	MAWA	MAWA_O1	MAWA_O2	MAWA_O3	MAWA_O4
1	1	3	3	4	1	2	92	271.200	0,5441	0,5465	1,0322	2,8537	0,5595
2	2	2	1	2	2	1	75	261.400	0,1993**	0,2028**	0,8859*	2,8441	0,1633*
3	4	3	1	3	1	3	103	293.200	1,0000	1,0000	1,1400	3,0000	1,0000
1	4	2	3	3	1	2	80	257.500	0,1999	0,1997*	0,9234**	2,7857**	0,1955**
1	3	3	3	4	3	2	92	248.000	0,1992*	0,2274	1,0061	2,6860*	0,3119

* Sütündeki en küçük değer; ** Sütündeki en küçük ikinci değer

GA en küçük iki bireyi tutarak bunları ana iki birey yapmaktadır. Bir sonraki iterasyonda bu iki bireyin karışımından yeni bireyleri oluşturmaktadır. Tablo 5’den de görüldüğü gibi MAWA 2. ve 5. bireyleri tercih ederken MAWA_O1, MAWA_O2 ve MAWA_O4 2. ve 4. bireyleri tercih etmektedir. MAWA_O3 ise 4. ve 5. bireyleri tercih etmektedir. Dolayısıyla en iyi bireylerin farklı olmasından dolayı iterasyonlar sonunda farklı sonuçlara ulaşabilmektedir. Her ne kadar MAWA_O1, MAWA_O2 ve MAWA_O4 sonuçları aynı görünse de farklı bireylerde bu sonuçlar farklılaşabilmektedir. Bu nedenle tüm fonksiyonlar farklı sonuçlara ulaşabilmektedir. TLBO yöntemine göre de en iyi birey MAWA’da 5. birey olurken çalışmada sunulan diğer yaklaşımlarda 4. birey olmaktadır. Bu durum rastgele seçilen başka alternatiflerde değişebilmektedir. Dolayısıyla farklı MAWA fonksiyonları en iyi birey seçimini etkilemekte bu durum da optimizasyonu yönlendirerek performansını doğrudan etkilemektedir.

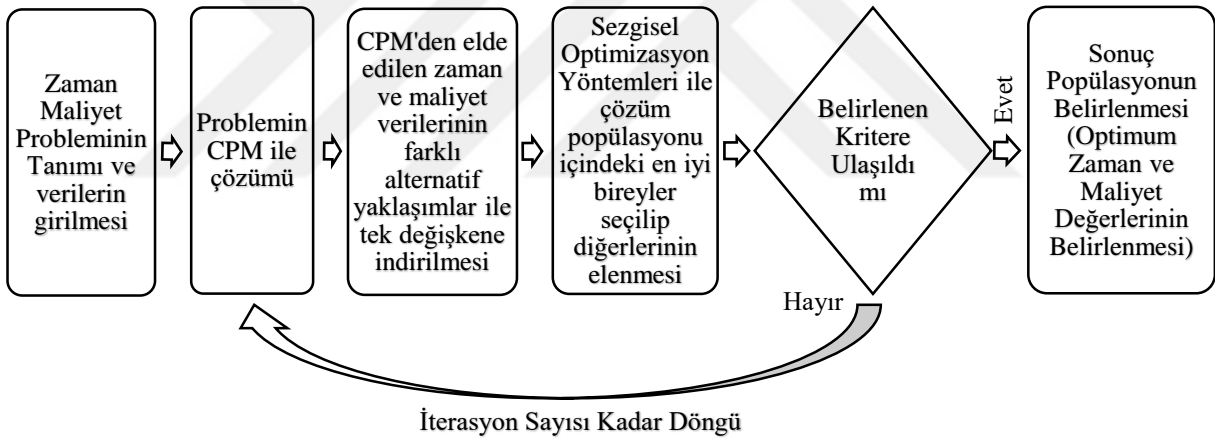
Alternatif yöntemler ve etkileme şekilleri açıklandıktan sonra araştırmada kullanılan model Şekil 11’de verilmiştir.

Şekil 11’den de görüleceği üzere araştırmada öncelikle incelenecek olan projeye ait tanım yapılarak veri seti oluşturulmaktadır. Ardından aşamalar için alternatif seçeneklerden rastgele tercihler yapılarak projeye ait bir başlangıç çözüm kümesi oluşturulur. Bu küme CPM yöntemi ile değerlendirilerek proje tamamlanma süresi ve proje toplam maliyet değerleri elde

edilmektedir. Elde edilen çözüm kümesi sonuçları farklı alternatif MAWA fonksiyonları ile tek değişkene indirilmektedir.

Ayrıca MAWA'ya alternatif olarak çalışmada geliştirilen 4 farklı yaklaşım (MAWA_O1, MAWA_O2, MAWA_O3, MAWA_O4) da çözüm kümesi sonuçlarının tek değere indirilmesi için kullanılmıştır. Ardından sezgisel optimizasyon yöntemleri ile (GA ve TLBO) en iyi olan çözümler tutulup diğerleri atılarak optimizasyon sürecine belirlenen sonlandırma kriterine ulaşıncaya kadar devam yukarıda açıklanan işlemlere ardışık olarak devam edilmektedir.

Sonlandırma kriteri olarak dikkate alınan maksimum iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar yenilenen son çözüm kümesindeki en iyi zaman ve maliyet değeri sonuç olarak alınmaktadır.



Şekil 11. Araştırmanın Modeli

2.3. Projelerin Genetik Algoritma Kullanılarak Çözümü

Çalışmada ilk önce farklı MAWA formüllerinin değişik büyüklükteki yapım projelerindeki performansı, GA yöntemi ile incelenmeye çalışılmıştır. İlk olarak 7 aktiviteli proje, ardından 14, 18, 63 ve 630 aktiviteli projeler incelenmiştir.

İncelenen yapım işi projelerinin GA kullanılarak gerçekleştirilen zaman-maliyet ödünleşim problemleri optimizasyon süreçlerinde GA için, seçim ve üreme operatörü olarak

rulet yöntemi, çaprazlama operatörü için heuristic çaprazlama 0,4 oranı, mutasyon operatörü için ise uniform mutasyon yöntemi 0,8 oranı ile kullanılmıştır.

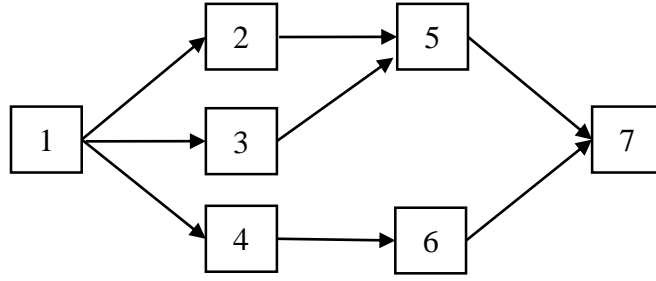
2.3.1. 7 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü

7 aktiviteli proje ile ilgili veri seti Liu vd. (1995) ile Feng vd.'nin (2000) çalışmalarından elde edilmiştir. Ayrıca dolaylı maliyet günlük 1500\$ olarak belirtilmiştir. Her bir aktivitenin en az 3 en fazla 5 farklı zaman ve maliyet alternatifleri mevcuttur. 7 aktiviteli projenin veri seti Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. 7 aktiviteli yapım projesinin veri seti

Aktivite Açıklamaları	Aktivite	Öncüller	Alternatifler	Zaman (Gün)	Direkt Maliyet (\$)
Saha Hazırlama Maliyeti	1	-	1	14	23000
			2	20	18000
			3	24	12000
Kalıplar ve Demir Maliyeti	2	1	1	15	3000
			2	18	2400
			3	20	1800
Kazı Maliyeti	3	1	1	15	4500
			2	22	4000
			3	33	3200
Beton Kirişlerin Ön döküm Maliyeti	4	1	1	12	45000
			2	16	35000
			3	20	30000
Temel Dökümü ve İskele Maliyeti	5	2,3	1	22	20000
			2	24	17500
			3	28	15000
Kirişlerin Ulaşımı	6	4	1	14	40000
			2	18	32000
			3	24	18000
Kirişlerin Yerleştirilmesi	7	5,6	1	9	30000
			2	15	24000
			3	18	22000

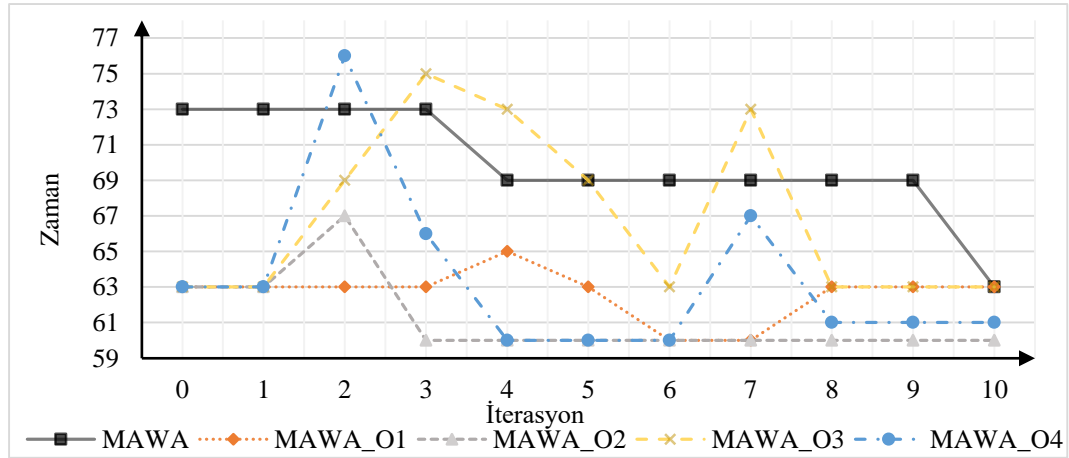
Tablo 6'daki verilere göre 7 aktiviteli projeye ait hazırlanan faaliyet iş akışı şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 12. 7 aktiviteli projenin iş akış şeması

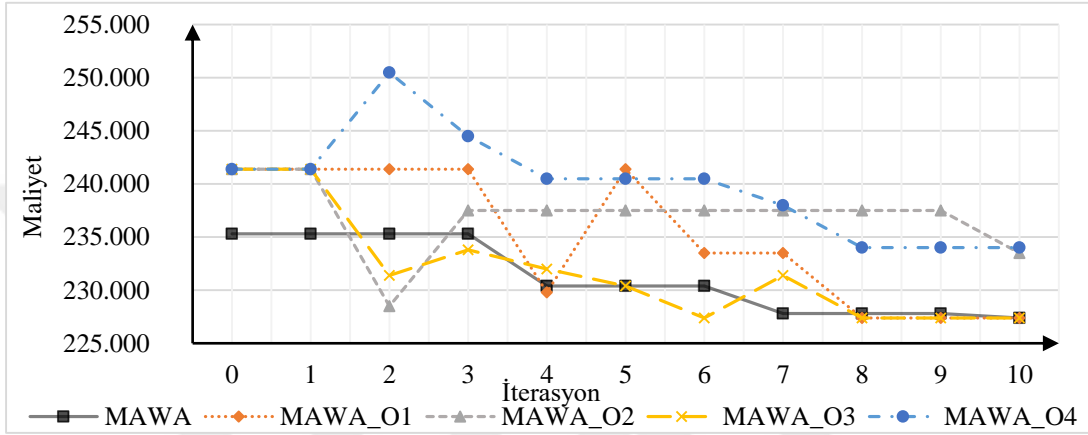
Şekil 12’de görüldüğü üzere 7 aktiviteli projenin 3 adet alternatif yolu mevcuttur. Bunlar 1-2-5-7, 1-3-5-7 ve 1-4-6-7’dir. Bu yollardan en uzun olanı kritik yol olarak belirlenmektedir. 7 aktiviteli yapım işi projesinin GA, orijinal MAWA ve çalışmada sunulan yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımları kullanılarak gerçekleştirilen zaman-maliyet ödünleşim problemi optimizasyon sürecinde rastgele oluşturulmuş 10 bireye sahip bir popülasyon ve 10 iterasyon adımı dikkate alınmıştır.

Detayları verilen optimizasyon süreci boyunca elde edilen en iyi bireye ait zaman ve maliyet değerlerindeki değişim sırası ile Şekil 13 ve 14’de verilmiştir.



Şekil 13. 7 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi

Şekil 13'ten de görüldüğü üzere 10 iterasyon sonrası, 7 aktiviteli yapım projesinin tamamlanma süresi MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 için 63 güne kadar düşerken, MAWA_O4 için 61 güne ve son olarak MAWA_O2 için 60 güne kadar düşmektedir.



Şekil 14. 7 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi

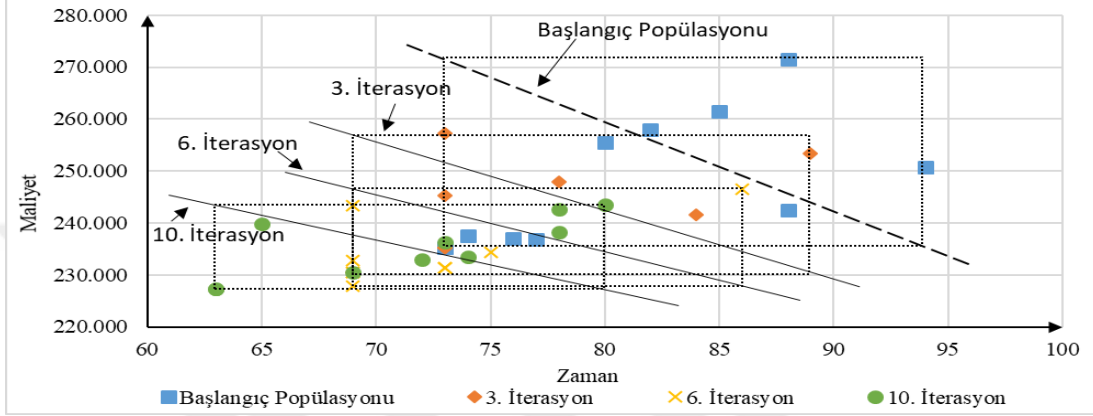
Şekil 14'ten de görüldüğü üzere GA zaman değişim grafiğinde 63 gün ile en yüksek işlem süresini tespit eden MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 proje maliyetini 227400\$ ile en düşük maliyetle sonuca ulaşmışlardır. En düşük proje sürelerini veren MAWA_O2 233500\$, MAWA_O4 ise 234000\$ proje maliyeti sonuçlarına ulaşmışlardır.

Elde edilen son popülasyon içerisinde en iyi sonuçları veren bireyler ve bunlara ait yollar Tablo 7'de verilmiştir.

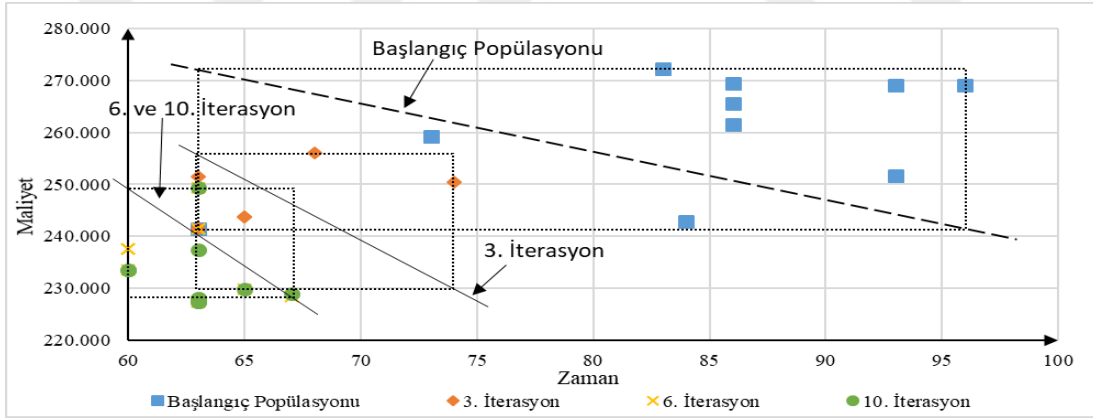
Tablo 7. 7 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar

Formül	Popülasyon							Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	1	2	1	2	1	3	1		
MAWA	1	2	1	2	1	3	1	63	227.400
MAWA_O1	1	1	1	1	1	3	1	60	233.500
MAWA_O2	1	1	1	1	1	3	1	60	233.500
MAWA_O3	1	2	1	2	1	3	1	63	227.400
MAWA_O4	1	1	1	3	1	2	1	61	234.000

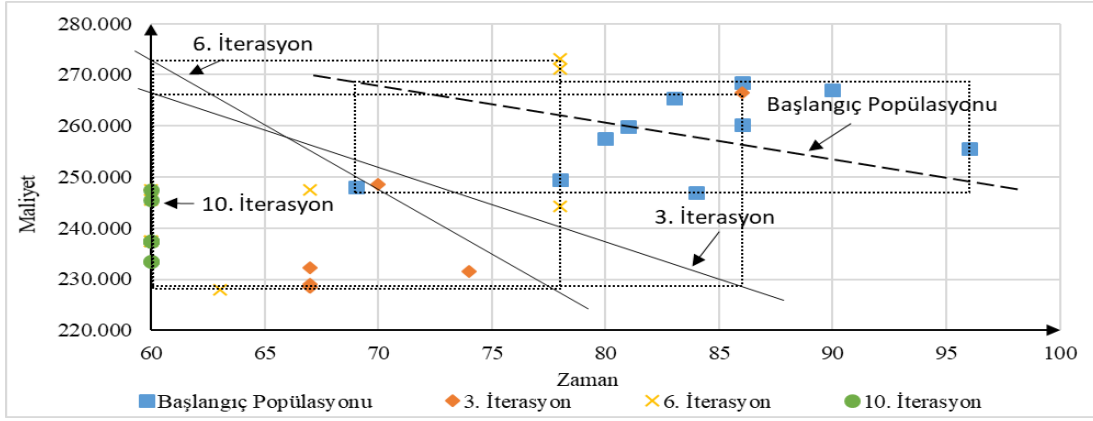
Bunlara ek olarak performansı ölçülen MAWA formüllerinin başlangıç ve belirli iterasyonlardaki zaman-maliyet değişimi sırası ile Şekil 15-19'da verilmektedir.



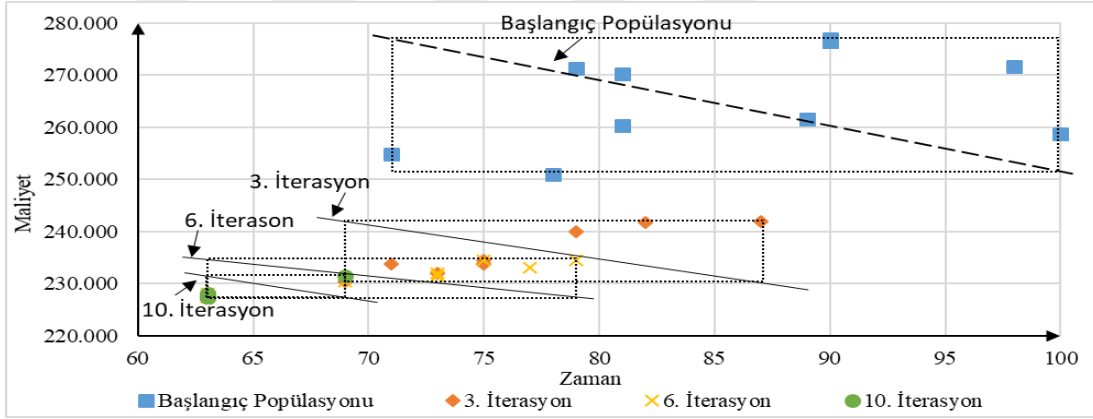
Şekil 15. Orijinal MAWA formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi



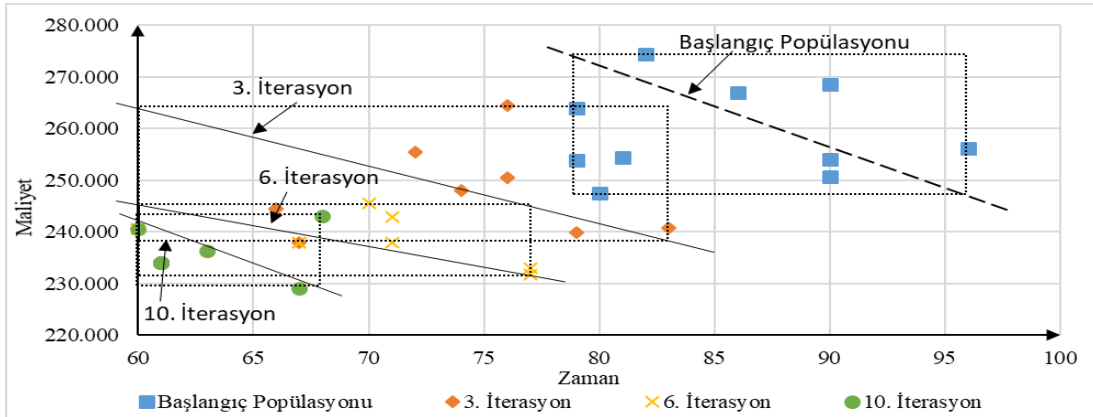
Şekil 16. MAWA_O1 formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi



Şekil 17. MAWA_O2 formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi



Şekil 18. MAWA_O3 formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi



Şekil 19. MAWA_O4 formülleri ve GA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi

Şekil 15-19'dan da görülebildiği üzere farklı MAWA formülleri 10 iterasyon boyunca devam eden ve GA ile yönlendirilen optimizasyon sürecinde farklı sonuçlara ulaşmaktadır. Bu durum formüllerin farklı işleyiş özelliklerini ortaya koyarken popülasyon yenileme sürecinde farklı çözümlere yönelinmesini sağladığını göstermektedir.

Tüm MAWA formülleri ile rastgele oluşturulan farklı başlangıç popülasyonu ile on kez tekrarlanan optimizasyon süreçlerinin her biri sonunda elde edilen en iyi sonuçlar Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8. 7 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	67	227.300	67	227.800	63	227.400	67	225.900	63	227.400
2	70	231.000	63	227.400	67	227.800	68	220.500	63	225.500
3	67	227.300	70	231.500	63	227.400	78	224.500	67	227.300
4	67	227.800	67	228.500	63	227.400	77	226.000	61	234.000
5	63	227.400	63	225.500	60	233.500	63	227.400	63	227.400
6	63	227.400	67	227.800	60	233.500	78	224.500	73	231.300
7	67	227.800	63	227.400	60	233.500	71	224.400	60	240.500
8	67	228.500	60	233.500	60	233.500	68	220.500	69	230.400
9	63	227.400	67	227.800	60	240.500	68	220.500	67	227.800
10	67	235.500	67	227.300	60	233.500	67	225.300	63	225.500
Global sonuç			60 Gün				233.500 \$			

10 kez tekrarlanan optimizasyon süreci sonuçlarına göre MAWA_O2'nin beş kez MAWA_O1'in ise bir kez genel (global) optimum sonuca ulaşabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca en düşük maliyet olan 220.500\$ sonucuna MAWA_O3 ulaşmıştır. MAWA'nın ve MAWA_O4'ün sonuçları incelendiğinde hiçbir koşulda global optimum sonuca ulaşamadığı görülmektedir.

Sonuç olarak, 7 aktiviteli yapım projesinin zaman-maliyet ödünleşim probleminin çözümünde çalışmada yeni olarak önerilen MAWA_O1, MAWA_O2 ve MAWA_O3 formüllerinin bu tür problemin çözümünde alternatif formüller olarak kullanılabilmesi söylenebilir.

Literatür incelendiğinde 7 aktiviteli yapım projesinin zaman-maliyet ödünleşim probleminin çözümünü konu edinen bir çok çalışmanın olduğu görülmektedir (Zhang-Ng, 2012;

Al-Zarrad ve Fonseca, 2018; Singh vd; 2012). Ancak bu çalışmalarda kullanılan dolaylı maliyetler 500\$/gün, 1000\$/gün veya 1500\$/gün olarak değişmektedir.

Bu çalışmada dolaylı maliyet 1500\$/gün olarak dikkate alındığından, performans karşılaştırması bu değeri dikkate alan çalışmalar ile yapılmaktadır (Tablo 9).

Tablo 9. 7 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması

Çalışma	Kullanılan Yöntem	İterasyon sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
Zhang ve Ng (2012)	Karınca kolonisi-MAWA	6		61	234.000
		12		63	225.000
		17		68	220.500
Kuang ve Xiong (2006)	Karınca kolonisi-MAWA	50	40	60	233.500
				67	224.000
	GA-MAWA	50	40	66	236.500
				73	251.500
Dede (2018)	TLBO-MAWA			60	233.500
				68	220.500
Parveen ve Saha (2012)	GA-MAWA			60	233.500
Zheng vd. (2004)	GA-MAWA	5	5	66	236.500
Xiong ve Kuang(2008)	Karınca kolonisi-MAWA	50	100	60	233.500
				68	220.500
Eirgash (2018)	TLBO-MAWA	10	5	60	233.500
				68	220.500
Azeez ve Alsaffar(2014)	Karınca kolonisi-MAWA	20	10	60	233.500
				68	220.500
Magalhães-Mendes (2015)	GA-MAWA	50	5	63	225.500
Toğan ve Eirgash (2019a)	TLBO-MAWA	10	5	60	233.500
				68	220.500
Bu Çalışma	GA-MAWA	10	10	63	227.400
	GA-MAWA_O1	10	10	60	233.500
				63	225.500
	GA-MAWA_O2	10	10	60	233.500
				63	227.400
	GA-MAWA_O3	10	10	63	227.400
			68	220.500	
GA-MAWA_O4	10	10	60	240.500	
			63	225.500	

Tablo 9'dan da görüldüğü üzere literatürdeki çalışmaların çoğunda optimum değer olan 60 gün ve 233.500\$ değerine ulaşılmıştır. Bu çalışma içinde MAWA_O1 ve MAWA_O2 optimum sonunca ulaşırken diğer MAWA formülleri bu genel optimum sonuca ulaşamamıştır.

Buna rağmen bu formüllerin kullanılması ile ulaşılan sonuçların literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir.

Diğer bir deyişle, MAWA, MAWA_O3 ve MAWA_O4 genel optimum sonuca alternatif olabilecek lokal optimum değerleri bulmuştur ve bu sonuçlar literatürde verilen diğer lokal optimum sonuçlardır.

2.3.2. 14 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü

Orijinal MAWA ile çalışmada önerilen formüllerin performans değerlendirmelerinin yapıldığı ikinci yapım projesi Prašćević ve Prašćević (2014)'den alınmıştır. Bu yapım projesi örneği sadece Prašćević ve Prašćević (2014) tarafından incelendiğinden çalışmada elde edilen sonuçlar sadece bu çalışma ile karşılaştırılmıştır. 14 aktiviteli yapım projesine ait veriler Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10. 14 aktiviteli yapım projesinin veri seti

Aktivite Açıklamaları	Aktivite	Öncüller	Alternatif	Zaman (Gün)	Direkt Maliyet (DiM) (€)
Saha Hazırlama Faaliyetleri	1		1 [EDZ] 2 [NZ] 3 [EYZ]	4 6 9	18.000 12.500 8.000
Gerekli Malzemelerin Temini	2	1	1 [EDZ] 2 [NZ] 3 [EYZ]	2 3 5	10.000 6.400 4.500
Zemin Hazırlama	3	1	1 [EDZ] 2 [NZ] 3 [EYZ]	2 4 6	12.600 8.600 5.000
Kaba İnşaat İşleri	4	2, 3	1 [EDZ] 2 [NZ] 3 [EYZ]	7 10 15	30.000 20.000 14.000
Ekipman Temini (Tanklar ve Dolum Pompaları)	5	3	1 [EDZ] 2 [NZ] 3 [EYZ]	4 6 9	18.000 12.000 8.000
Şantiye Alanına Erişim Yolu Yapımı	6	4, 3	1 [EDZ] 2 [NZ] 3 [EYZ]	1 2 3	6.200 4.000 2.000
Prefabrik Faaliyetler	7	4	1 [EDZ] 2 [NZ] 3 [EYZ]	2 3 5	10.800 6.800 4.000
Tanklar İçin Kazı Çalışmaları	8	5, 6	1 [EDZ] 2 [NZ] 3 [EYZ]	2 4 7	14.000 8.000 4.000

Tablo 10'nun devamı

Aktivite Açıklamaları	Aktivite	Öncüller	Alternatif	Zaman (Gün)	Direkt Maliyet (DiM) (€)
Tank Kaplama Faaliyetleri	9	7	1 [EDZ]	4	18.200
			2 [NZ]	6	13.000
			3 [EYZ]	9	8.700
Tanklar İçin Duvar Faaliyetleri	10	8	1 [EDZ]	2	11.000
			2 [NZ]	3	6.400
			3 [EYZ]	5	4.000
Erişim Yolunu Asfaltlama	11	6	1 [EDZ]	3	14.300
			2 [NZ]	5	10.000
			3 [EYZ]	7	6.100
Pompa ve Tank Montajı	12	9, 10	1 [EDZ]	2	8.400
			2 [NZ]	4	8.400
			3 [EYZ]	7	4.800
Bitirme Faaliyetleri	13	11, 12	1 [EDZ]	1	2.000
			2 [NZ]	2	2.000
			3 [EYZ]	4	1.500
Son Kontrol ve İlk Deneme Faaliyeti	14	13	1 [EDZ]	1	1.000
			2 [NZ]	2	1.000
			3 [EYZ]	3	500

Projenin her bir yapım işine(aktivitesine) karşılık gelen en düşük zaman (EDZ), normal zaman (NZ), en yüksek zaman (EYZ) ve bu zaman değerlerine karşılık gelen maliyet değerleri verilmiştir. Bu yüzden projenin her bir aktivitesi için tanımlanabilecek alternatifler, bu en düşük zaman ile en yüksek zaman değerleri arasındaki bir değer olarak alınabilmektedir. Bu zaman değerine karşılık gelen direkt maliyet (DiM) ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Prašćević ve Prašćević, 2014).

$$DiM(t_i) = EDDiM_i * LC(t_i) + NDiM_i * LE(t_i) + EYDiM_i * LN(t_i) \quad (1.33)$$

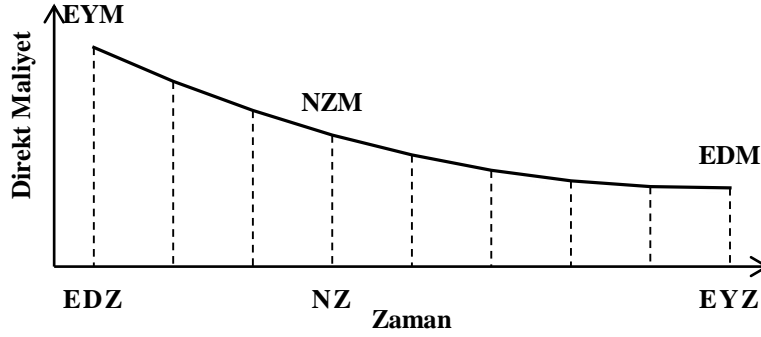
Burada EDDiM en düşük direkt maliyeti, NDiM normal direkt maliyeti, EYDiM en yüksek direkt maliyeti temsil etmektedir. LC(t_i), LE(t_i) ve LN(t_i) katsayıları ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Prašćević ve Prašćević, 2014).

$$LC(t_i) = \frac{(t_i - NZ_i) * (t_i - EYZ_i)}{(EDZ_i - NZ_i) * (EDZ_i - EYZ_i)}$$

$$LE(t_i) = \frac{(t_i - EDZ_i) * (t_i - EYZ_i)}{(NZ_i - EDZ_i) * (NZ_i - EYZ_i)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n_a \quad (1.34)$$

$$LN(t_i) = \frac{(t_i - EDZ_i) * (t_i - NZ_i)}{(EYZ_i - EDZ_i) * (EYZ_i - NZ_i)}$$

Burada t_i aktivite zamanlarını temsil etmektedir. Bu şekilde elde edilebilecek direkt maliyet eğrisinin görünümü Şekil 20’de verilmektedir.



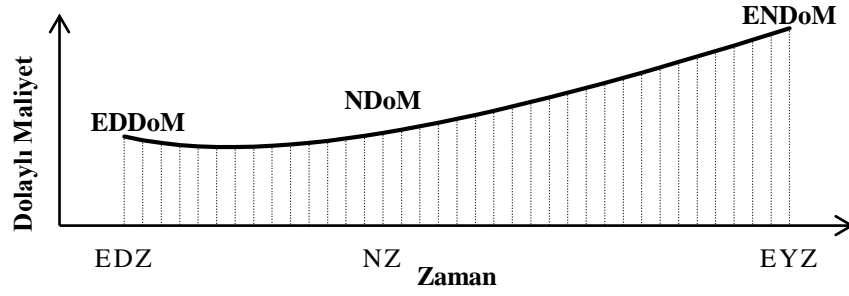
Şekil 20. 14 aktiviteli yapım projesi için zaman-direkt maliyet ilişkisi

Şekil 20’den de görüldüğü üzere zaman arttıkça projenin doğrudan maliyetleri azalmaktadır ve bu azalma doğrusal olmayan bir şekilde gerçekleşmektedir.

Projedeki dolaylı maliyetler de zamana göre değişim göstermektedir. Dolaylı maliyetler (DoM) proje zamanı ile doğrusal olmayan bir ilişki içerisinde değişim göstermekte ve aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Prašćević ve Prašćević, 2014).

$$\text{DoM}(t_{pr}) = \text{EDDoM} * \text{LC}(t_{pr}) + \text{NDoM} * \text{LE}(t_{pr}) + \text{EYDoM} * \text{LN}(t_{pr}) \quad (1.35)$$

Burada EDDoM en düşük dolaylı maliyeti, NDoM normal dolaylı maliyeti ve EYDoM ise en yüksek dolaylı maliyeti göstermektedir. LC, LE ve LN değerleri yukarıda verildiği gibi hesaplanmaktadır. Burada her bir aşamadaki değerler yerine projenin toplam değerleri kullanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen zaman başına düşen dolaylı maliyet grafiği Şekil 21’de verilmektedir.



Şekil 21. 14 aktivite yapım projesi için zaman-dolaylı maliyet ilişkisi

Şekil 21'den görüldüğü üzere proje gerçekleşme zamanı arttıkça dolaylı maliyetler de artmaktadır. Ayrıca bu artış doğrusal olmayan bir şekilde gerçekleşmektedir.

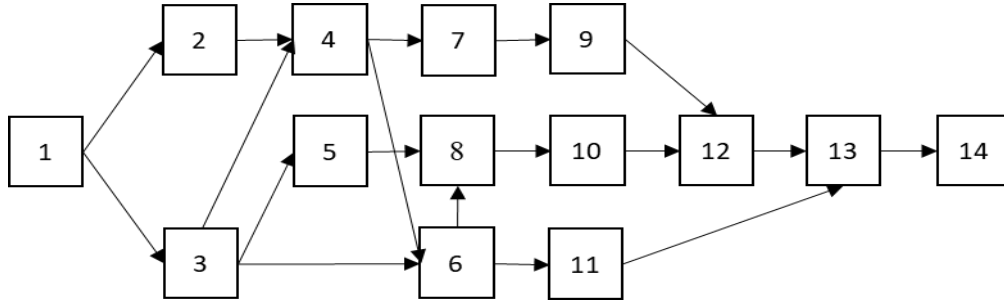
Projenin toplam maliyeti (TM) ise toplam direkt maliyet (DiM(t)) ile toplam dolaylı maliyetlerden DoM(t_{pr}) oluşmakta olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$TM(t, t_{pr}) = DiM(t) + DoM(t_{pr}) \quad (1.36)$$

Proje için en düşük gerçekleşme zamanı (EDZ) 23 gün, en yüksek gerçekleşme zamanı ise (EYZ) 59 gün olmaktadır. Prašević ve Prašević, (2014)'in verilerine göre normal zaman (NZ) 37 gün olmaktadır. Belirtilen bu proje zamanlarına denk gelen dolaylı maliyetler ise aşağıda verilmiştir (Prašević ve Prašević, 2014).

EDZ	: 23 gün	EDDoM	: 15.000€
NZ	: 37 gün	NDoM	: 24.500€
EYZ	: 59 gün	EYDoM	: 56.500€

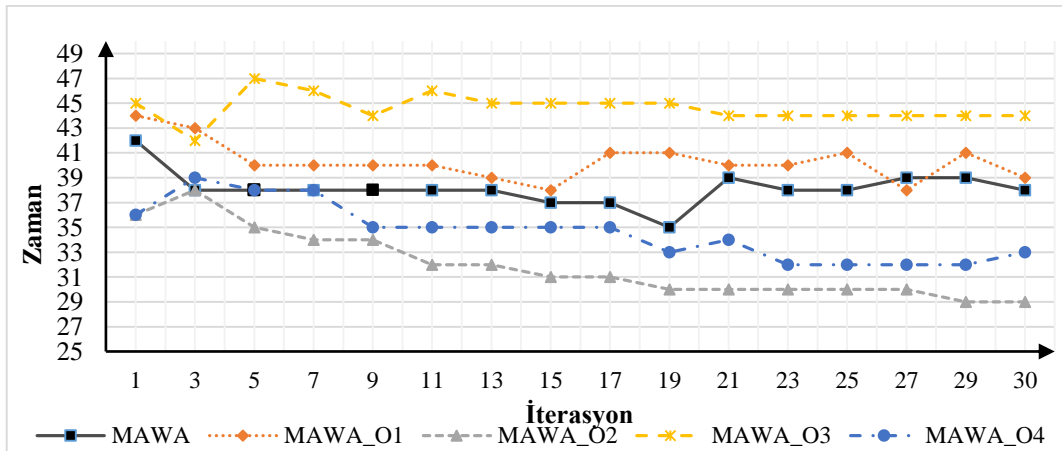
İlk olarak belirlenen öncüllere göre 14 aktiviteli projenin iş akış şeması oluşturulmuştur.



Şekil 22. 14 aktiviteli projenin iş akış şeması

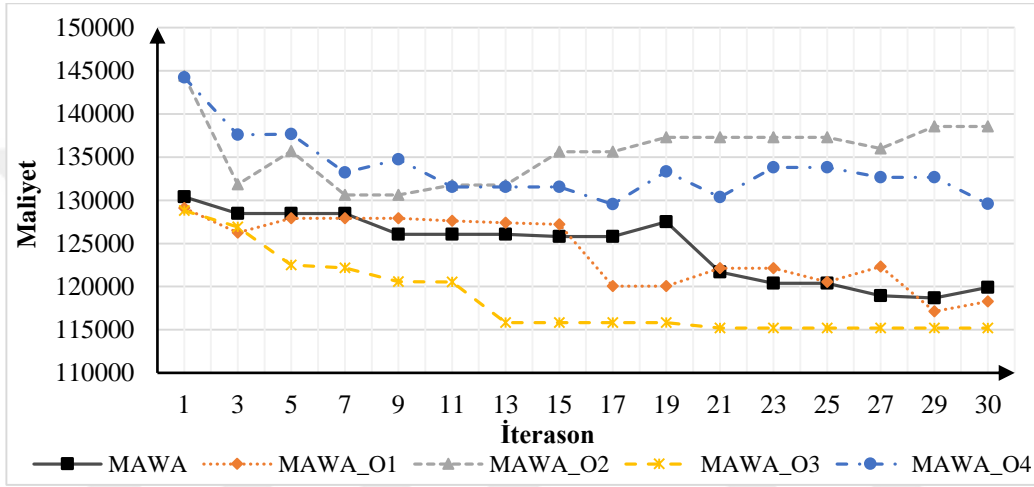
Şekil 22’de verilen şemadan da görüldüğü üzere 14 aktiviteli projenin 9 adet alternatif yolu mevcuttur. Bu yollardan en uzun kritik yol olarak belirlenmektedir. 14 aktiviteli yapım işi projesinin GA, orijinal MAWA ve çalışmada sunulan yeni değiştirilmiş uyarlanabilir yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilen zaman-maliyet ödünleşim problemi optimizasyon sürecinde rastgele oluşturulmuş 20 bireye sahip bir popülasyon ve 30 iterasyon adımı dikkate alınmıştır.

Oluşturulan bu yöntem farklı MAWA fonksiyonları ile çalıştırılmıştır. Bu şekilde alternatif MAWA’lar ile elde edilen çözümlerin performansının literatürden elde edilen MAWA’nın optimizasyon performansı ile karşılaştırılması yapılmıştır. 14 iterasyon boyunca elde edilen yenilemelerin zaman ve maliyet değişimlerini gösteren grafikler sırası ile Şekil 23 ve 24’te verilmektedir.



Şekil 23. 14 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi

Şekil 23'ten de görüldüğü üzere zaman açısından en kötü performansı 44 gün ile MAWA_O3 göstermiştir. Bunu 39 gün ile MAWA_O1, 38 gün ile MAWA takip etmektedir. Ardından ile MAWA_O4 fonksiyonu 30 en iyi ikinci düşük zamana ulaşmıştır. En düşük zamana ise 29 gün ile MAWA_O2 fonksiyonu ulaşmıştır.



Şekil 24. 14 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi

Yukarıdaki grafikten de görüldüğü üzere GA maliyet açısından en iyi sonuca ulaşmasını sağlayan yaklaşım MAWA_O3'dür. Bunu sırasıyla MAWA_O1, MAWA, MAWA_O4 takip etmektedir. En kötü performansı gösteren yaklaşım ise MAWA_O2'dir.

Yukarıdaki sonuçlara ek olarak 14 aktiviteli proje için elde edilen son popülasyon içerisinde en iyi sonuçları veren bireyler ve bunlara ait değerler Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. 14 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar

	Popülasyon													Zaman (Gün)	Direkt Maliyet (€)	Dolaylı Maliyet (€)	Toplam Maliyet (€)	
	2	4	5	4	6	3	4	5	5	3	5	1	1					1
MAWA	2	4	5	4	6	3	4	5	5	3	5	1	1	1	38	94.400	25.501	119.902
MAWA_O1	4	3	4	4	6	3	4	5	5	3	5	1	1	1	39	91.717	26.547	118.264
MAWA_O2	1	2	2	2	6	3	3	3	3	2	5	1	1	1	29	120.516	18.037	138.553
MAWA_O3	5	4	5	7	6	3	3	5	6	3	5	1	1	1	44	82.767	32.419	115.185
MAWA_O4	2	3	3	2	5	2	3	4	5	4	5	1	1	1	33	108.667	20.924	129.591

Tablo 11'den görüldüğü üzere en düşük maliyeti veren MAWA_O3 olurken bu maliyete denk gelen zaman 44 gün olarak elde edilmiştir. 29 gün ile en düşük zamanı veren MAWA_O2 olup bu proje tamamlanma süresine karşılık gelen proje maliyeti ise 138.553€'dur.

Yukarıdaki sonuçlara ek olarak farklı MAWA formüllerinin karşılaştırılması amacıyla 14 aktiviteli yapım projesinin zaman-maliyet ödünleşim problemi 10'ar kez tekrarlanmıştır. Bu koşullar sonucu elde edilen en iyi sonuçlar Tablo 12'de sunulmaktadır.

Tablo 12. 14 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (€)	Zaman (Gün)	Maliyet (€)	Zaman (Gün)	Maliyet (€)	Zaman (Gün)	Maliyet (€)	Zaman (Gün)	Maliyet (€)
1	41	116.833	35	124.959	25	156.506	44	115.785	33	132.491
2	37	120.584	34	125.753	26	152.108	45	116.089	32	132.371
3	42	115.640	34	126.270	27	148.169	43	117.008	32	131.471
4	36	120.975	35	123.227	27	146.668	46	115.636	33	129.591
5	38	120.902	39	118.881	28	143.973	44	115.185	35	123.560
6	36	127.858	39	118.264	26	151.391	44	115.185	32	133.354
7	38	119.902	35	124.443	29	138.553	44	115.985	32	132.004
8	36	123.275	37	120.317	26	151.341	45	115.889	31	133.244
9	37	122.317	35	125.143	23	167.367	44	116.335	34	125.354
10	40	119.819	38	120.486	26	151.341	45	115.289	36	120.975
Prašcević ve Prašcević (2014) sonuçları			30 Gün				150.910 €			
			35 Gün				136.009 €			
			37 Gün				129.313 €			
			45 Gün				120.769 €			
			48 Gün				119.739 €			

En düşük maliyet performansına sahip yaklaşımın MAWA_O3 olduğu görülmektedir. En kısa sürede faaliyetin bitirilmesini sağlayan yaklaşım ise MAWA_O2 olarak tespit edilmiştir. Prašcević ve Prašcević, (2014) en düşük zamanlı sonucu 30 gün ve 150.910€ maliyet ile vermiştir. Ancak çalışmada GA-MAWA_O2 ile elde edilen sonucun 29 gün ve 138.553€ maliyet ile bu sonuçtan daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca 35, 37, 45 gün ve bunlara denk gelen maliyet karşılaştırmaları yapıldığında çalışmada MAWA, MAWA_O1, MAWA_O2 ve MAWA_O4 ile elde edilen sonuçların ilgili literatürde verilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, çalışmada Prašcević ve Prašcević (2014) tarafından bulunan sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

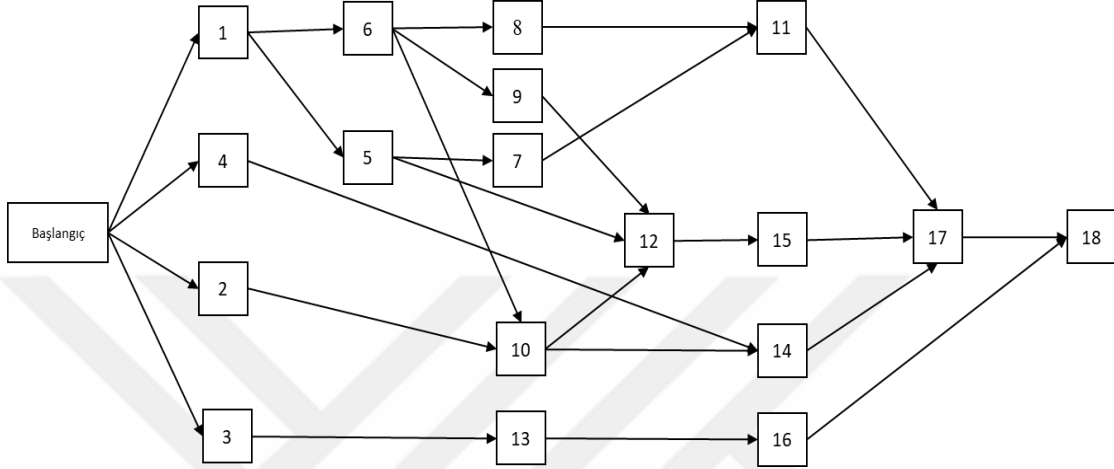
2.3.3. 18 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü

Çalışmada performans değerlendirmesi için kullanılan üçüncü yapım projesi örneği 18 aktiviteye sahip bir yapım projesidir. Proje ile ilgili aktiviteler, öncülleri, işlem süreleri ve bu işlem sürelerine karşılık gelen direkt maliyetler Tablo 13'te verilmektedir (Zheng vd., 2005).

Tablo 13. 18 aktiviteli yapım projesinin veri seti

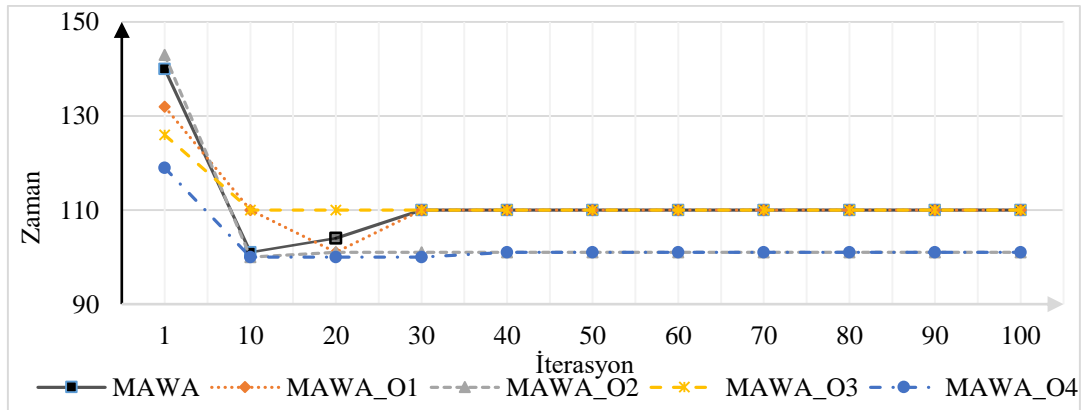
Aktivite	Öncüller	Alternatifler	Zaman (Gün)	Direkt Maliyet(\$)	Aktivite	Öncüller	Alternatifler	Zaman (Gün)	Direkt Maliyet(\$)
1		1	14	2400	10	2,6	1	15	450
		2	15	2150			2	22	400
		3	16	1900			3	33	320
		4	21	1500					
		5	24	1200					
2		1	15	3000	11	7,8	1	12	450
		2	18	2400			2	16	350
		3	20	1800			3	20	300
		4	23	1500					
		5	25	1000					
3		1	15	4500	12	5,9,10	1	22	2000
		2	22	4000			2	24	1750
		3	33	3200			3	28	1500
			4	30			1000		
4		1	12	45000	13	3	1	14	4000
		2	16	35000			2	18	3200
		3	20	30000			3	24	1800
5	1	1	22	20000	14	4,10	1	9	3000
		2	24	17500			2	15	2400
		3	28	15000			3	18	2200
		4	30	10000					
6	1	1	14	40000	15	12	1	12	4500
		2	18	32000			2	16	3500
		3	24	18000					
7	5	1	9	30000	16	13,14	1	20	3000
		2	15	24000			2	22	2000
		3	18	22000			3	24	1750
			4	28			1500		
			5	30			1000		
8	6	1	14	220	17	11,14,15	1	14	4000
		2	15	215			2	18	3200
		3	16	200			3	24	1800
		4	21	208					
		5	24	120					
9	6	1	15	300	18	16, 17	1	9	3000
		2	18	240			2	15	2400
		3	20	180			3	18	2200
		4	23	150					
		5	25	100					

Projedeki dolaylı maliyetler 1500\$/gün olarak verilmiştir. Projenin ağ diyagramı Şekil 25'teki gibidir.



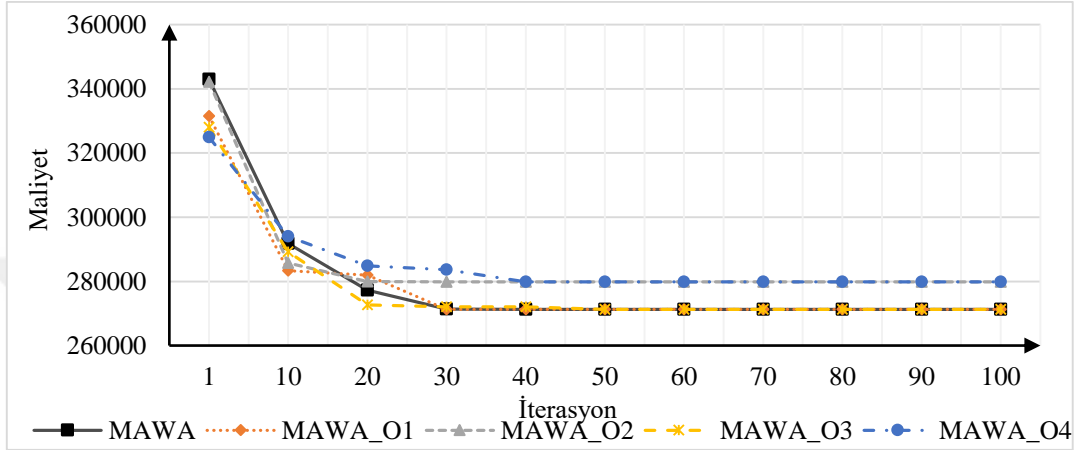
Şekil 25. 18 aktiviteli projenin iş akış şeması

18 aktiviteli projenin 11 adet alternatif yolu mevcuttur. Bu yollardan en uzununu kritik yol olarak belirlenmektedir. 18 aktiviteli yapım işi projesinin GA, orijinal MAWA ve çalışmada sunulan yeni değiştirilmiş uyarlanabilir yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilen zaman-maliyet ödünleşim problemi optimizasyon sürecinde rastgele oluşturulmuş 50 bireye sahip bir popülasyon ve 100 iterasyon adımı dikkate alınmıştır. İterasyonlar boyunca gerçekleşen ilerleme süreci Şekil 26'da zaman için, Şekil 27'de ise maliyet için verilmiştir.



Şekil 26. 18 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi

Şekil 26'daki grafik sonuçlarına göre MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 110 gün sonucuna ulaşırken, MAWA_O2 ve MAWA_O4 101 gün sonucuna ulaşmıştır.



Şekil 27. 18 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi

Şekil 27'de verilen sonuçlara göre 100 iterasyon sonucunda MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 271.270\$ maliyet değerine ulaşırken, MAWA_O2 ve MAWA_O4 ise 279.820\$ maliyet değerine ulaşmıştır.

Proje için elde edilen en iyi sonuçların alternatif birleşimleri ve bu birleşimlere karşılık gelen proje tamamlanma zamanı ve maliyeti Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. 18 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar

	Popülasyon													Zaman (gün)	Maliyet (\$)	
MAWA	1	5	3	3	4	3	3	5	1	1	3	1	3	3	110	271.270
MAWA_O1	1	5	3	3	4	3	3	5	1	1	3	1	3	3	110	271.270
MAWA_O2	1	5	3	3	4	1	3	5	1	1	2	1	3	3	101	279.820
MAWA_O3	1	5	3	3	4	3	3	5	1	1	3	1	3	3	110	271.270
MAWA_O4	1	5	3	3	4	1	3	5	1	1	2	1	3	3	101	279.820

Sonuçlardan da görüldüğü üzere MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 aynı sonuçlara ulaşırken, MAWA_O2 ile MAWA_O4 aynı sonuçlara ulaşmışlardır.

Projenin zaman-maliyet ödünleşim probleminin her bir MAWA formülleri ve GA ile 10 kez tekrarlanan optimizasyon süreçleri sonunda elde edilen sonuçları Tablo 15’de sunulmaktadır.

Tablo 15. 18 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	110	271.420	110	272.070	101	279.820	110	271.270	101	279.820
2	101	279.920	105	284.770	101	281.120	110	271.420	101	279.820
3	101	279.820	110	271.270	101	279.820	110	271.270	101	279.820
4	110	271.270	110	271.270	101	279.820	110	271.270	101	279.820
5	110	271.270	110	271.270	101	279.920	110	271.270	101	279.820
6	101	279.820	110	271.270	101	279.820	110	271.270	101	279.820
7	110	271.270	110	271.270	101	279.920	110	271.270	101	279.820
8	110	271.270	101	279.820	100	285.270	110	271.270	101	279.820
9	110	271.270	110	272.720	101	279.820	110	271.270	101	279.820
10	101	279.820	110	271.270	101	279.820	110	271.270	101	279.920
Global sonuçlar			100 Gün				283.320 \$			
			110 Gün				271.270 \$			

Tablo 15’den görüldüğü üzere projenin global optimum sonuçlarına MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 ulaşabilmiştir. MAWA_O2 ve MAWA_O4 rastgele oluşturulan popülasyonlarla tekrarlanan 10 koşumun hiçbirinde ilgili global optimum sonuçlara ulaşamamıştır.

18 aktiviteli proje literatürde farklı dolaylı maliyetler kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada dikkate alınan dolaylı maliyet 1500\$/gündür. Bu nedenle literatürde yer alan çalışmalardan sadece dolaylı maliyet değeri 1500\$/gün olan ve MAWA yöntemi ile yapılan çalışmalar ve sonuçları dikkate alınmıştır. Literatürde ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. 18 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması

18 aktiviteli yapım projesi	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon	Popülasyon	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Bassuony (2016)	GA-MAWA	100-200	50-100	104	296.700
107					291.420	
106					295.170	
Ng ve Zhang (2008)	GA-MAWA	500	50	100	287.720	
				110	273.720	
	Karınca kolonisi-MAWA	200	10	100	283.320	
				110	271.320	
Zhang ve Ng (2012)	GA-MAWA	500	50	100	287.720	
				110	273.720	
	ACS-MAWA	200	10	100	283.320	
				110	271.320	
	ACS-SGPU-MAWA	200	10	100	285.400	
				110	273.165	
Afshar vd. (2009)	Karınca kolonisi-MAWA	240	50	100	283.320	
				110	271.270	
Toğan ve Eirgash (2019a)	TLBO-MAWA	40	70	100	283.420	
				110	273.470	
Zheng vd. (2005)	GA-MAWA	500	50	100	287.720	
				110	273.720	
Sonmez ve Bettemir (2012)	Hybrid GA	100	80	110	271.270	
Eirgash ve Dede (2018)	ITLBO-MAWA	70	40	100	283.320	
				110	271.270	
Eirgash (2018)	MAWA-TLBO	70	40	100	283.420	
				110	273.470	
Li ve Wang (2009)	GA-MAWA	500	50	100	287.720	
				110	273.730	
	ACO-MAWA	200	40	100	283.320	
				110	271.320	
	Memetic Algorithm (MA)-MAWA	200	40	100	281.890	
110				270.340		
Bu Çalışma	GA-MAWA	100	50	101	279.820	
				110	271.270	
	GA-MAWA_O1	100	50	101	279.820	
				110	271.270	
	GA-MAWA_O2	100	50	100	285.270	
				101	279.820	
	GA-MAWA_O3	100	50	110	271.270	
				101	279.820	

Tablo 16'daki sonuçlara göre MAWA_O2'nin 100 gün sonucuna ulaştığı ancak bu sonucun maliyetinin literatürdeki sonuçlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanında en düşük maliyetli sonuç olan 271.270\$ ve 110 gün sonucuna MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3'ün ulaştığı görülmektedir. Buna göre bu üç yaklaşım da literatürdeki sonuçlar ile uyumlu sonuçlar vermişlerdir.

2.3.4. 63 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü

Daha önce incelenen yapım işi projelerine kıyasla daha fazla aktivite içeren ve bu özelliğe orta büyüklükte bir yapım projesi olarak adlandırılan 63 aktiviteli yapım işi projesinin zaman-maliyet ödünleşim problemi ilk defa Sönmez ve Bettemir (2012) tarafından incelenmiştir. Projenin aktiviteleri, öncülleri, işlem süreleri ve bu işlem sürelerine karşılık gelen direkt maliyetleri Tablo 17'de verilmektedir.

Tablo 17. 63 aktiviteli yapım projesinin veri seti

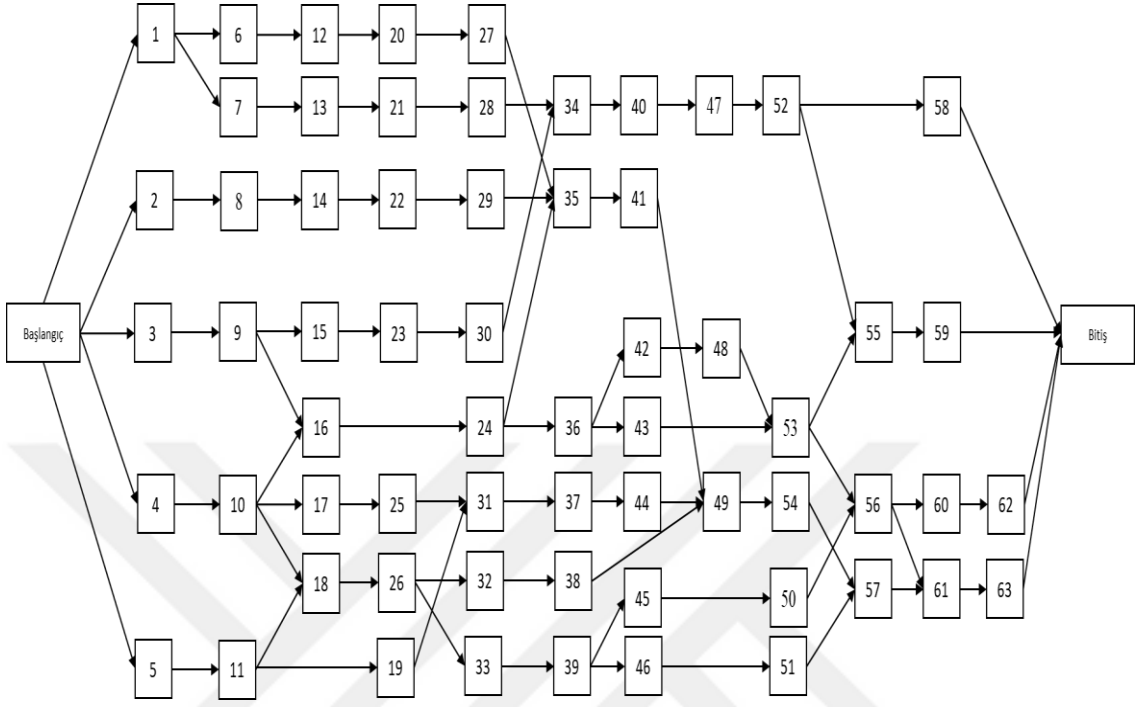
Aktivite	Öncüller	Zaman Alternatifleri (Gün)					Direkt Maliyet Alternatifleri (\$)				
		A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
1		14	12	10	9		3.750	4.250	5.400	6.250	
2		21	18	17	15		11.250	14.800	16.200	19.650	
3		24	22	19	17		22.450	24.900	27.950	31.650	
4		19	17	15	0		17.800	19.400	21.600		
5		28	26	23	21		31.180	34.200	38.250	41.400	
6	1	44	42	38	35		54.260	58.450	63.225	68.150	
7	1	39	36	33	30		47.600	50.750	54.800	59.750	
8	2	52	47	44	39		62.140	69.700	72.600	81.750	
9	3	63	59	55	51	49	72.750	79.450	86.250	91.500	99.500
10	4	57	53	50	46	41	66.500	70.250	75.800	80.750	86.450
11	5	63	59	55	50	45	83.100	89.450	97.800	104.250	112.400
12	6	68	62	58	53	49	75.500	82.000	87.500	91.800	96.550
13	7	40	37	33	31		34.250	38.500	43.950	48.750	
14	8	33	30	27	25		52.750	58.450	63.400	66.250	
15	9	47	40	35	32		38.140	41.500	47.650	54.100	
16	9, 10	75	70	66	61	57	94.600	101.250	112.750	124.500	132.850
17	10	60	55	49	47		78.450	84.500	91.250	94.640	
18	10, 11	81	73	66	61		127.150	143.250	154.600	161.900	
19	11	36	34	30	0		82.500	94.800	101.700		
20	12	41	37	34	32		48.350	53.250	59.450	66.800	
21	13	64	60	57	53	49	85.250	92.600	99.800	107.500	113.750
22	14	58	53	50	47	42	74.250	79.100	86.700	91.500	97.400
23	15	43	41	37	33	30	66.450	69.800	75.800	81.400	88.450
24	16	66	62	58	53	49	72.500	78.500	83.700	89.350	96.400
25	17	54	50	47	43	40	66.650	70.100	74.800	79.500	86.800
26	18	84	79	73	68	62	93.500	102.500	111.250	119.750	128.500
27	20	67	60	57	56	53	78.500	86.450	89.100	91.500	94.750
28	21	66	63	60	58	54	85.000	89.750	92.500	96.800	100.500
29	22	76	71	67	64	60	92.700	98.500	104.600	109.900	115.600
30	23	34	32	29	27	26	27.500	29.800	31.750	33.800	36.200
31	19, 25	96	89	83	77	72	145.000	154.800	168.650	179.500	189.100
32	26	43	40	37	35	33	43.150	48.300	51.450	54.600	61.450
33	26	52	49	44	41	38	61.250	64.350	68.750	74.500	79.500
34	28, 30	74	71	66	62	57	89.250	93.800	99.750	105.100	114.250
35	24, 27, 29	138	126	115	103	98	183.000	201.500	238.000	283.750	297.500

Tablo 17'nin devamı

Aktivite	Öncüller	Zaman Alternatifleri (Gün)					Direkt Maliyet Alternatifleri (\$)				
		A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
36	24	54	49	42	38	33	47.500	50.750	56.800	62.750	68.250
37	31	34	32	29	27	24	22.500	24.100	26.750	29.800	31.600
38	32	51	47	44	41	38	61.250	65.800	71.250	76.500	80.400
39	33	67	61	57	52	49	81.150	87.600	92.100	97.450	102.800
40	34	41	39	36	33	31	45.250	48.400	51.200	54.700	58.200
41	35	37	31	27	23	0	17.500	21.200	26.850	32.300	
42	36	44	41	38	32	30	36.400	39.750	42.800	48.300	50.250
43	36	75	69	63	59	54	66.800	71.200	76.400	81.300	86.200
44	37	82	76	70	66	63	102.750	109.500	127.000	136.800	146.000
45	39	59	55	51	47	43	84.750	91.400	101.300	126.500	142.750
46	39	66	63	59	55	50	94.250	99.500	108.250	118.500	136.000
47	40	54	51	47	44	41	73.500	78.500	83.600	88.700	93.400
48	42	41	39	37	34	31	36.750	39.800	43.800	48.500	53.950
49	38, 41, 44	173	159	147	138	121	267.500	289.700	312.000	352.500	397.750
50	45	101	74	63	49		47.800	61.300	76.800	91.500	
51	46	83	77	72	65	61	84.600	93.650	98.500	104.600	113.200
52	47	31	28	26	24	21	23.150	27.600	29.800	32.750	35.200
53	43, 48	39	36	33	29	26	31.500	34.250	37.800	41.250	44.600
54	49	23	22	21	20	18	16.500	17.800	19.750	21.200	24.300
55	52, 53	29	27	26	24	22	23.400	25.250	26.900	29.400	32.500
56	50, 53	38	35	33	31	29	41.250	44.650	47.800	51.400	55.450
57	51, 54	41	38	35	32	30	37.800	41.250	45.600	49.750	53.400
58	52	24	22	20	18	16	12.500	13.600	15.250	16.800	19.450
59	55	27	24	22	19	17	34.600	37.500	41.250	46.750	50.750
60	56	31	29	27	25	21	28.500	30.500	33.250	38.000	43.800
61	56, 57	29	27	25	22	20	22.500	24.750	27.250	29.800	33.500
62	60	25	23	21	19	17	38.750	41.200	44.750	49.800	51.100
63	61	27	26	25	24	22	9.500	9.700	10.100	10.800	12.700

63 aktiviteli yapım işi projesinin GA, orijinal MAWA ve çalışmada sunulan yeni değiştirilmiş uyarlanabilir yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilen zaman-maliyet ödünleşim problemi optimizasyon sürecinde rastgele oluşturulmuş 300 bireye sahip bir popülasyon ve 500 iterasyon adımı dikkate alınmıştır.

İlgili verilere göre 63 aktiviteli projeye ait iş akış şeması Şekil 28'de verilmiştir.

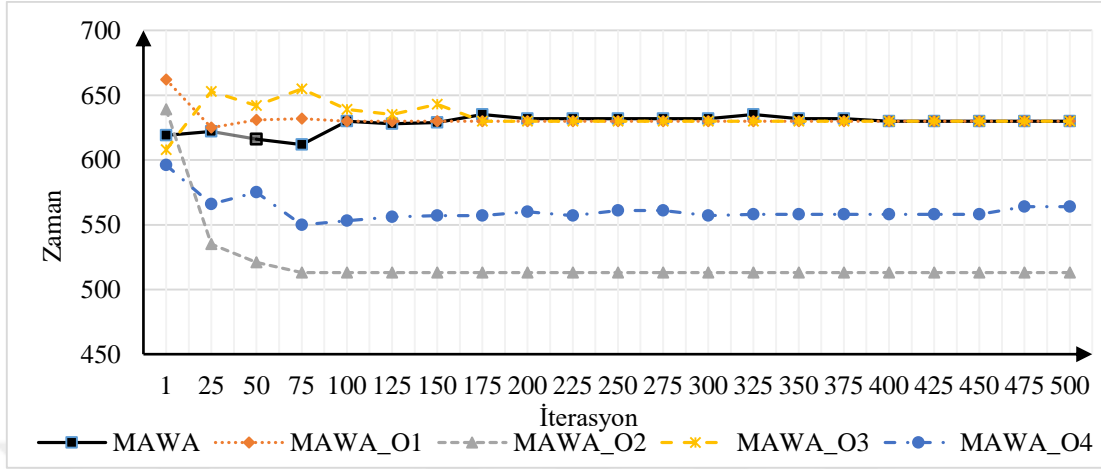


Şekil 28. 63 aktiviteli projenin iş akış şeması

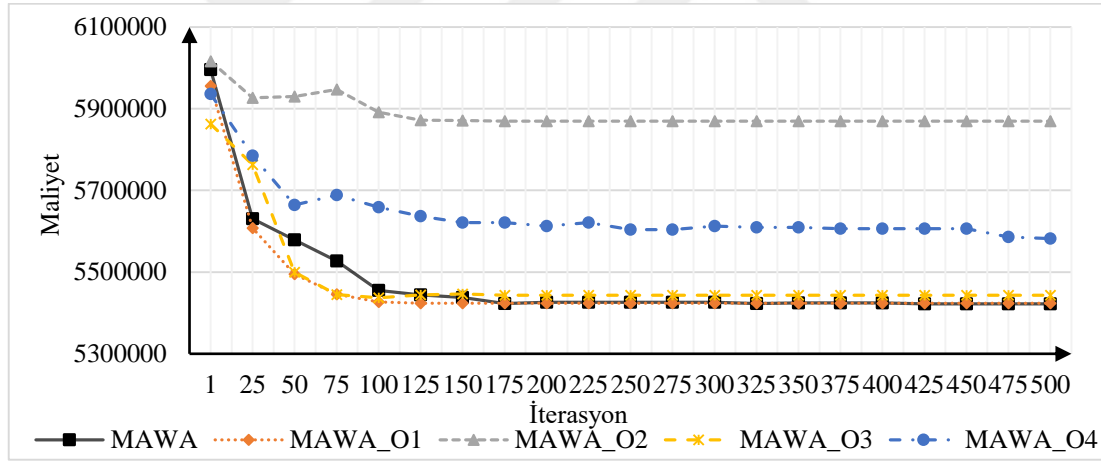
Şekil 28'den de görüldüğü üzere 63 aktiviteli projenin birçok farklı alternatif yolu mevcuttur. Bu yollardan en uzununu olanı kritik yol olarak belirlenmektedir.

63 aktiviteli yapım projesinin zaman-maliyet ödünleşim problemi, projedeki dolaylı maliyetin 2300\$/gün ve 3500\$/gün gibi iki farklı maliyet değeri için ayrı ayrı çözülmüştür. Bu nedenle ilk maliyet değeri dikkate alınarak yapılan çözüm 63a, ikinci dolaylı maliyet değerine göre elde edilen çözüm de 63b olarak adlandırılmaktadır.

63 aktiviteli projenin, 2300\$/gün dolaylı maliyet değeri dikkate alınarak gerçekleştirilen zaman-maliyet ödünleşim probleminin GA kullanılarak yapılan optimizasyonunda iterasyonlar boyunca proje tamamlanma zamanı ve toplam maliyet değeri için elde edilen yenilenme geçmişleri Şekil 29'da zaman, Şekil 30'da ise toplam maliyet değerleri için gösterilmektedir.



Şekil 29. 63 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi (63a)



Şekil 30. 63 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi (63a)

Şekil 29 ve Şekil 30 birlikte değerlendirildiğinde orta büyüklükteki bu projede MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3'ün daha çok maliyet odaklı çalıştığı tespit edilirken, MAWA_O2'nin zaman odaklı çalıştığı görülmektedir. MAWA_O4 ise zaman ve maliyet konusunda diğer yaklaşımlara göre biraz daha dengeli tercihler yapmaktadır.

2300\$/gün dolaylı maliyet değeri ile 63 aktiviteli projenin bahsedilen optimizasyon sürecinin bir kez gerçekleştirilmesi (bir koşum yapılması) ile elde edilen en iyi sonuçlar ve bu sonuçlara ait olan aktivite alternatifleri Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar (63a)

	Popülasyon																				Zaman (Gün)	Maliyet (\$)					
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1			1	1	2	1	1
MAWA	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
	1	1	1	1	3	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	5	1	1	5	1	5
MAWA_O1	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	3	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	5	1	1	5	1	1	5
MAWA_O2	4	4	1	3	4	4	1	4	4	5	2	5	1	4	1	5	4	4	1	3	1	5	1	5	5	5	1
	5	1	5	1	5	1	5	1	4	1	1	5	1	1	1	5	2	1	1	1	5	1	1	5	1	2	5
MAWA_O3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	5	1	1	5	1	1
MAWA_O4	3	1	1	3	3	1	1	3	1	5	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
	3	1	5	1	5	1	5	1	4	1	1	1	1	1	1	5	2	1	1	1	5	1	1	5	1	1	3

Optimizasyon sürecinin önceki bölümlerde belirtilen özellikleri ile her bir değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımları ve GA kullanılarak 10 kez tekrarlanmasıyla elde edilen sonuçları Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (63a)

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	629	5.422.470	630	5.421.470	513	5.886.980	633	5.421.670	565	5.582.190
2	630	5.448.570	627	5.426.070	513	5.890.430	630	5.445.020	602	5.713.580
3	629	5.448.120	612	5.517.590	513	5.874.430	630	5.443.120	596	5.668.190
4	629	5.446.170	629	5.512.630	536	5.904.540	630	5.445.020	585	5.641.980
5	629	5.424.570	630	5.423.620	513	5.866.730	630	5.448.570	561	5.596.080
6	630	5.421.420	629	5.455.370	513	5.869.630	630	5.443.120	580	5.685.240
7	630	5.421.420	630	5.425.770	513	5.867.980	637	5.423.420	589	5.653.890
8	629	5.456.520	630	5.424.770	513	5.868.805	630	5.445.020	595	5.638.970
9	630	5.422.070	626	5.481.070	513	5.871.080	630	5.445.020	586	5.647.820
10	629	5.423.420	630	5.426.870	513	5.869.230	630	5.443.120	600	5.617.380
Global Sonuç			630 Gün				5.421.120 \$			

Sonuçlara göre hiçbir fonksiyon global optimum sonuca ulaşamamıştır. Ancak MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 global optimum sonuca yakın sonuçlar üretirlerken MAWA_O2 zaman önceliği ile çalışarak en düşük süreli ancak en yüksek maliyetli sonuçlara ulaşmıştır.

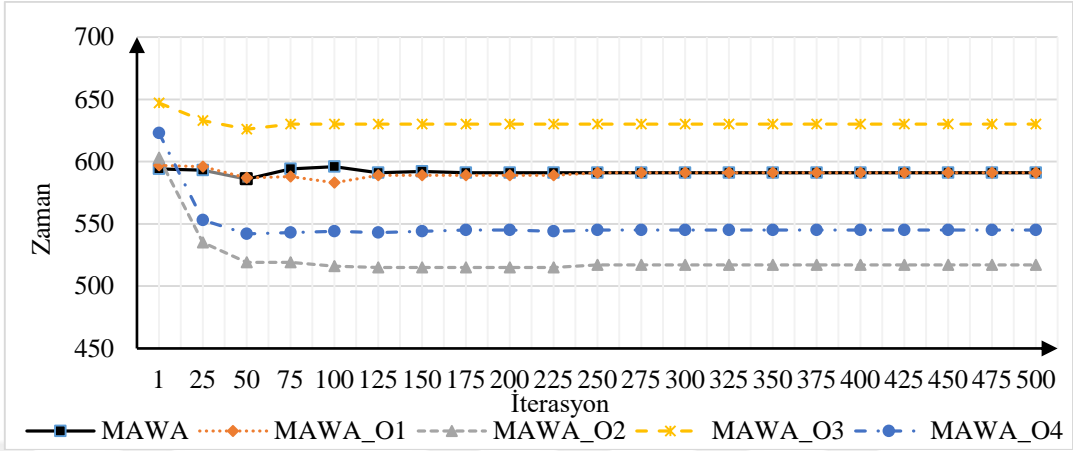
Literatürden elde edilen sonuçlar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 20’de sunulmuştur.

Tablo 20. 63 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (63a)

63 aktiviteli yapım projesi (63a)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Toğan ve Eirgash (2019a)	GA-MAWA		500	500	517
528						5.687.020
PSO-MAWA			500	500	581	5.858.295
					594	5.701.200
TLBO-MAWA		450	180	614	5.644.640	
				627	5.588.485	
Eirgash ve Dede (2018)	ITLBO-MAWA		200	120	602	5.480.820
Eirgash (2018)	TLBO-MAWA		450	180	614	5.644.640
					630	5.600.190
Bu çalışma	GA-MAWA		500	300	630	5.421.420
					629	5.422.470
	GA-MAWA_O1		500	300	612	5.517.590
					630	5.421.470
	GA-MAWA_O2		500	300	513	5.866.730
					630	5.443.120
GA-MAWA_O3		500	300	633	5.421.670	
				561	5.596.080	
GA-MAWA_O4		500	300	565	5.582.190	

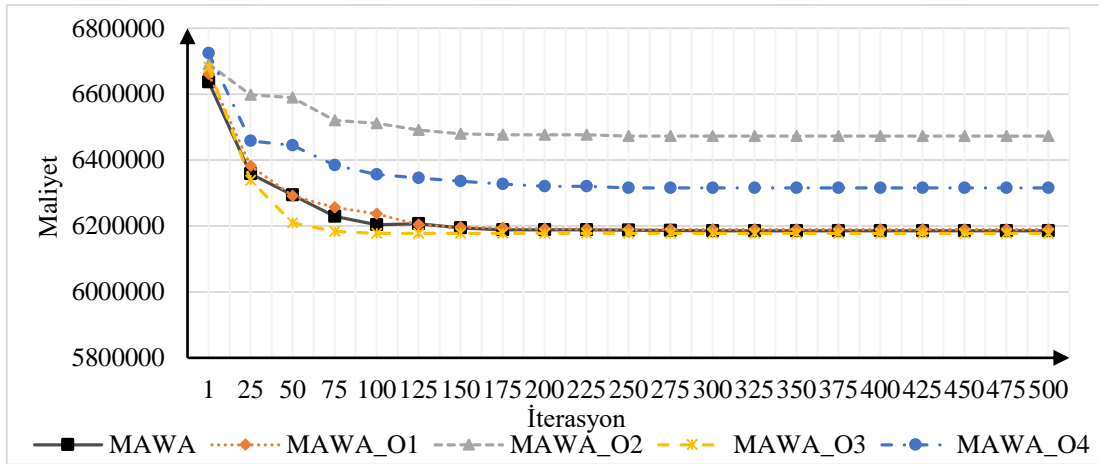
Çalışmada sunulan MAWA_O1 ve MAWA_O3’ün orijinal MAWA ile birlikte 63 aktiviteli yapım projesinin zaman-maliyet ödünleşim probleminin global optimum sonucu ve Tablo 20’de verilen literatür sonuçları dikkate alındığında literatür içindeki en iyi sonuçları ürettikleri görülmektedir.

Projenin 3500\$/gün dolaylı maliyet değeri dikkate alınarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecinin iterasyonlar boyunca proje tamamlanma zamanı ve toplam maliyet değeri için elde edilen yenilenme geçmişleri Şekil 31’de zaman, Şekil 32’de ise toplam maliyet değerleri için gösterilmektedir.



Şekil 31. 63 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi (63b)

Şekil 31'e göre en düşük zamanı veren 517 gün ile MAWA_O2'dir. Bunu sırasıyla MAWA_O4, MAWA_O1, MAWA ve MAWA_O3 takip etmektedir.



Şekil 32. 63 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi (63b)

Şekil 32'ye göre en düşük maliyeti veren MAWA_O3'tür. Bunu çok küçük bir farkla MAWA ve sonrasında sırasıyla MAWA_O1, MAWA_O4 ve MAWA_O2 izlemektedir.

Sunulan sonuçlara göre global optimum sonuca en yakın zaman ve maliyet değerlerine ulaşan MAWA_O3 olmuştur. Daha sonra sırasıyla MAWA ve MAWA_O1 maliyetin çok az daha artmasına izin vererek zamanın çok fazla düşmesini sağlamıştır. MAWA_O2 ise daha çok zaman optimizasyonunda başarı sağlamıştır. Literatürdeki çalışmalar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kıyaslanmanın daha kolay yapılabilmesi için Tablo 23'te bir arada verilmiştir.

Tablo 23. 63 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (63b)

63 aktiviteli yapım projesi (63b)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Toğan ve Eirgash (2019a)	GA-MAWA	500	500	513	6.435.790
525					6.322.020	
608					6.428.310	
613					6.261.820	
Eirgash ve Dede (2018)	ITLBO-MAWA	200	120	622	6.191.940	
				627	6.188.140	
Eirgash (2018)	TLBO-MAWA	450	180	613	6.261.820	
Bu çalışma	GA-MAWA	500	300	570	6.214.780	
				591	6.185.170	
				583	6.199.480	
				591	6.188.920	
				513	6.485.430	
				517	6.472.580	
				629	6.178.120	
				630	6.177.120	
GA-MAWA_O3	500	300	536	6.352.540		
			552	6.307.790		
GA-MAWA_O4	500	300	536	6.352.540		
			552	6.307.790		

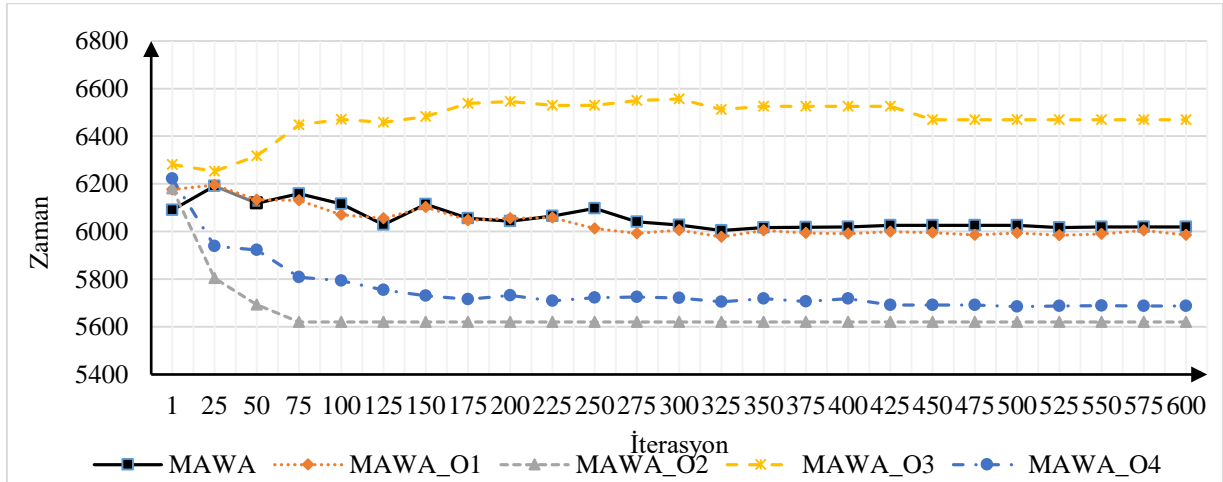
Sonuçlarda görüldüğü üzere optimum sonuca en yakın sonuca sadece MAWA_O3 ulaşabilmiştir. MAWA_O2 haricindeki tüm yaklaşımlar Toğan ve Eirgash (2019a)'un GA-MAWA kullanarak ulaştığı sonuçtan daha iyi sonuçlara ulaşmışlardır.

2.3.5. 630 Aktiviteli Projenin GA ile Çözümü

Çalışmada önerilen ve orijinal MAWA yaklaşımlarının performans değerlendirilmesi daha önceki bölümlerde küçük ve/veya orta büyüklükte sayılan yapım projelerinin zaman-maliyet ödünleşim problemlerinin çözümleriyle yapılmıştır. Bu amaçla, çalışmada sunulan ve orijinal MAWA yaklaşımlarının daha büyük boyutlu bir yapım projesinin ilgili problemimin

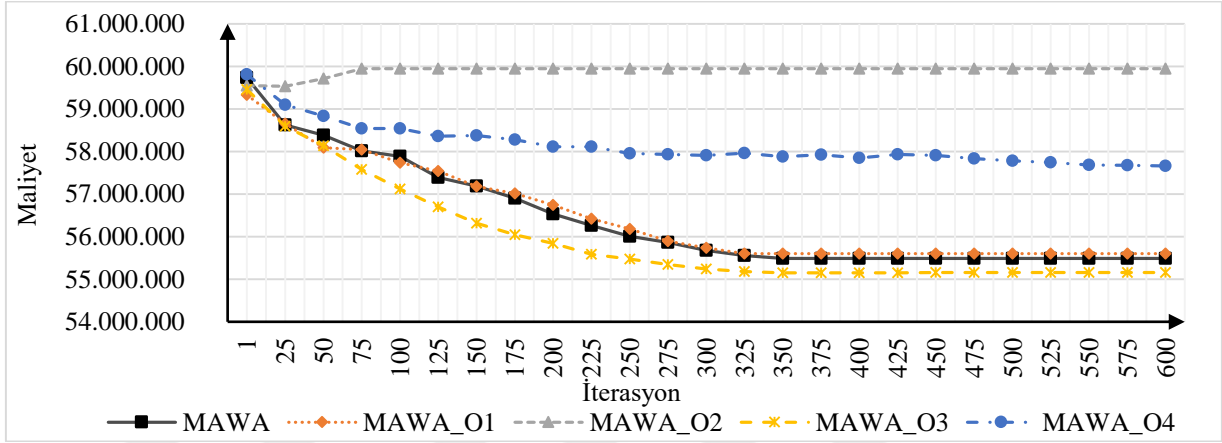
çözümüne olan katkılarını göstermek için bu bölümde 630 aktiviteli bir yapım projesi incelenmiştir.

Projenin veri seti 63 aktiviteli proje ile aynıdır. Sadece veri seti seri olarak 10 defa tekrarlanarak elde edilmiştir (Sönmez ve Bettemir 2012). 63 aktiviteli projede olduğu gibi 630 aktiviteli proje de iki farklı dolaylı maliyet (2300\$/gün ve 3500\$/gün) değeri için iki farklı durum olarak (sırası ile 630a ve 630b olarak) incelenmiştir. Optimizasyon sürecinde 400 adetlik bir popülasyon büyüklüğü ve 600 iterasyon adımı dikkate alınmıştır. Ek olarak daha önceki örneklerde en iyi bireylerin korunması şeklinde işleyen elitist jenerasyon değeri popülasyon büyüklüğü*0,10 dan popülasyon büyüklüğü*0,20 değerine çıkarılmıştır. Projenin ağ çizelgelemesi hem çok büyük olacağından hem de 63 aktiviteli projenin 10 defa yan yana konulmuş şekli olacağından tekrar oluşturulmamıştır. Projenin ilk durum olan 2300\$/gün dolaylı maliyet değeri (630a) ile gerçekleştirilen optimizasyonunda iterasyonlar boyunca proje tamamlanma zaman süresi ve toplam maliyet değeri için elde edilen yenilenme geçmişleri Şekil 33’de zaman, Şekil 34’de ise toplam maliyet değerleri için gösterilmektedir.



Şekil 33. 630 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca zaman değişimi (630a)

Şekil 33’ten görülebildiği gibi projenin en kısa zamanda bitirilmesini sağlayan MAWA_O2 olmuştur. Bunu sırasıyla MAWA_O4, MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 takip etmektedir.



Şekil 34. 630 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca maliyet değişimi (630a)

Şekil 34'te gösterilen sonuçlara göre en iyi maliyet optimizasyonunu MAWA_O3 gerçekleştirmiştir. Bunu sırasıyla MAWA, MAWA_O1, MAWA_O4 ve MAWA_O2 takip etmektedir. Projenin ilk durumunun bahsedilen optimizasyon sürecinin çalışmada sunulan ve orijinal değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarının her biri için 10 kez gerçekleştirilmesi (on koşum yapılması) ile elde edilen en iyi sonuçları Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. 630 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (630a)

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	6178	55.490.545	6127	55.503.820	5874	59.530.610	6529	55.213.070	5832	58.674.475
2	6092	55.598.800	6224	55.604.190	5787	60.389.190	6488	55.440.430	5774	58.225.160
3	6212	55.446.085	6224	55.604.190	5851	59.525.185	6301	58.891.360	5807	58.309.300
4	6209	56.922.640	6173	55.483.970	6042	59.438.255	6301	58.312.390	5688	57.658.100
5	6290	55.584.330	6048	55.937.370	5962	59.739.010	6300	58.171.320	5778	57.926.365
6	6019	55.347.800	6242	55.591.090	5620	59.943.130	6347	56.972.980	5740	57.785.850
7	6297	55.291.695	5985	55.594.470	5864	59.645.380	6301	57.485.580	5796	58.571.955
8	6304	55.216.760	6033	55.593.140	5810	59.895.430	6300	58.232.650	5831	58.412.430
9	6300	55.867.670	6038	55.315.140	5753	59.857.750	6299	56.607.470	5897	59.084.590
10	6178	55.490.545	6301	55.448.030	5564	59.579.055	6469	55.161.610	5836	58.776.940
Global sonuç			6300 Gün			54.211.200 \$				

Tablo 24’te verilen sonuçlardan da görüldüğü üzere bu projede en iyi performansı MAWA ve MAWA_O1 göstermiştir.

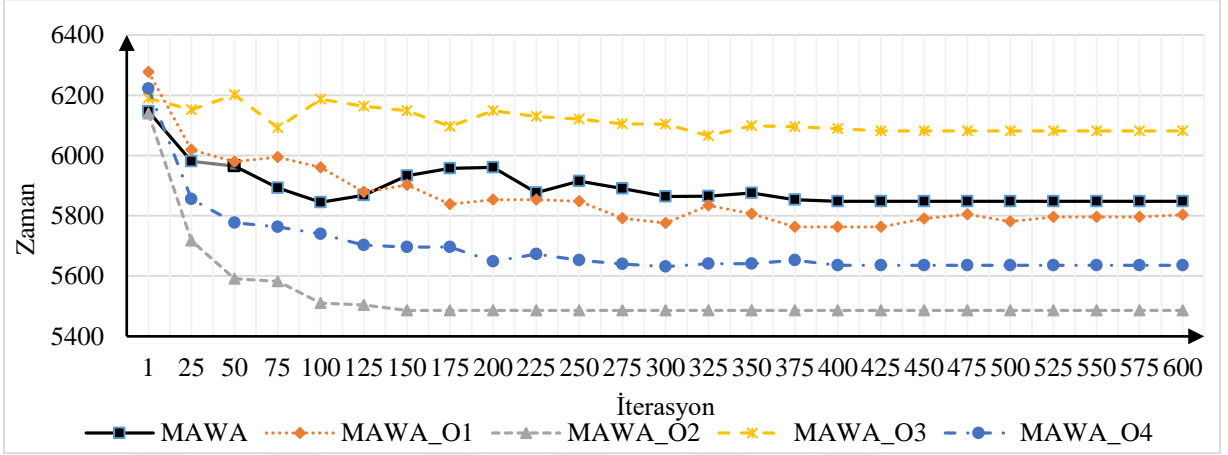
630 aktiviteli projeye ait literatür incelendiğinde MAWA’nın kullanıldığı çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu nedenle çalışmada performans değerlendirmesi için 630 aktivitenin literatürde baskın olmayan sıralama (Non-Dominating Sorting, NDS) yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçları kullanılmıştır. 630a ile ilgili literatürden alınan sonuçlar ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 25’de verilmiştir.

Tablo 25. 630 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (630a)

630 aktiviteli yapım projesi (630a)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Eirgash (2018)	TLBO - NDS	450	250	6300	54.992.260
				6373	54.611.340	
Toğan ve Eirgash (2019b)	MTLBO - NDS	250	100	6342	54.720.110	
				6447	54.682.080	
Bu çalışma	GA-MAWA	600	400	6019	55.347.800	
				6304	55.216.760	
	GA-MAWA_O1	600	400	5985	55.594.470	
				6038	55.315.140	
	GA-MAWA_O2	600	400	5564	59.579.055	
				6042	59.438.255	
GA-MAWA_O3	600	400	6299	56.607.470		
			6469	55.161.610		
GA-MAWA_O4	600	400	5688	57.658.100		

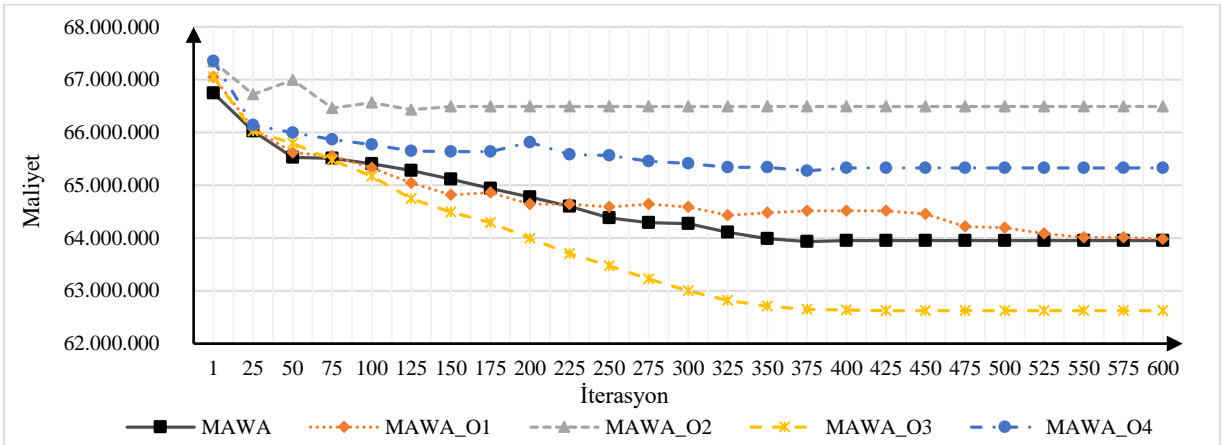
Tablo 25’de verilen sonuçlardan da görüldüğü üzere NDS ile elde edilen sonuçlar ile global optimum sonuç dikkate alındığında, ne çalışmada sunulan ne de orijinal değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımları iyi performans göstermemektedir. Bu durum MAWA’nın projenin büyümesi durumunda bahsedilen doğru ağırlıklandırma yapamamasından ve lokal optimumuma takılmasından ileri gelmektedir. Çalışmada önerilen yeni yaklaşımlarda bahsedilen bu sakıncayı büyük projeler için aşamamıştır.

Projenin ikinci durum olan 3500\$/gün dolaylı maliyet değeri (630b) ile gerçekleştirilen optimizasyonunda iterasyonlar boyunca proje tamamlanma zaman süresi ve toplam maliyet değeri için elde edilen yenilenme geçmişleri Şekil 35’de zaman, Şekil 36’da ise toplam maliyet değerleri için gösterilmektedir.



Şekil 35. 630 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyuncaki zaman değişimi (630b)

Şekil 35’de gösterilen sonuçlara göre zaman optimizasyonunu en iyi yapan yaklaşım MAWA_O2 olarak tespit edilmiştir. Bunu MAWA_O4, MAWA_O1 ve MAWA takip etmektedir. MAWA_O3 ise zaman açısından en yüksek zamana bulan yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 36. 630 aktiviteli projenin GA ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyuncaki maliyet değişimi (630b)

En iyi toplam maliyet değerini veren yaklaşım MAWA_O4 olmuştur. Bunu sırasıyla MAWA, MAWA_O1, MAWA_O4 ve MAWA_O2 takip etmektedir.

Çalışmada sunulan ve orijinal MAWA'nın projenin ikinci durumu (630b) için çözüm performanslarını göstermek amacıyla her bir yaklaşım için GA ile yürütülen optimizasyon süreci 10 kez tekrarlanmıştır. Ardışık olarak tekrarlanan bu koşullar sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26. 630 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve GA kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (630b)

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	5933	64.295.700	5963	64.011.800	5798	66.717.045	6177	63.417.845	5697	65.417.795
2	5885	63.694.085	5961	64.014.530	5624	66.883.390	6210	65.369.325	5636	65.326.180
3	5967	63.729.120	5906	64.094.040	5649	66.763.035	6210	65.607.000	5676	65.595.900
4	5928	64.524.170	5923	64.681.575	5486	66.490.490	6210	65.313.060	5652	65.081.260
5	5988	65.523.965	5943	63.546.255	5593	66.940.910	6210	65.955.165	5619	65.054.780
6	5978	63.693.070	5920	64.145.900	5797	66.610.300	6213	63.755.185	5588	64.946.030
7	5935	64.375.090	5803	63.981.025	5730	66.867.720	6210	65.079.070	5688	65.166.120
8	5848	63.950.310	5946	64.362.210	5711	66.720.055	6211	63.717.775	5676	65.435.560
9	5901	64.758.280	5963	64.607.215	5623	66.563.920	6210	64.934.395	5870	66.262.065
10	5930	64.776.965	5978	65.414.635	5730	66.828.495	6082	62.624.470	5841	66.098.425
Global sonuç			6210 Gün				61.761.700 \$			

Tablo 26'da sunulan sonuçlara göre zaman açısından en iyi optimizasyon sağlayan fonksiyon MAWA_O2 olurken maliyet açısından ise MAWA_O3 olmuştur. Ayrıca global optimizasyon değerlerine en yakın sonuca yine MAWA_O3 ulaşmıştır.

İlgili literatürde 630b için de 630a da olduğu gibi MAWA kullanılan çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu nedenle aşağıdaki literatür karşılaştırması için NDS yöntemi ile elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır (Tablo 27).

Sonuçlara bakıldığında GA-MAWA_O3'ün literatürle uyumlu sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Diğer yaklaşımların ise proje tamamlanma zamanı açısından öncelikli sonuçlar verdikleri görülmektedir.

Tablo 27. 630 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (630b)

630 aktiviteli yapım projesi (630b)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Eirgash (2018)	TLBO - NDS	450	250	6127	62.650.570
					6225	62.586.260
	Toğan ve Eirgash (2019b)	MTLBO - NDS	250	100	6030	62.704.580
					6204	62.591.490
	Bu çalışma	GA-MAWA	600	400	5848	63.950.310
					5978	63.693.070
		GA-MAWA_O1	600	400	5803	63.981.025
					5943	63.546.255
		GA-MAWA_O2	600	400	5486	66.490.490
GA-MAWA_O3		600	400	6082	62.624.470	
GA-MAWA_O4	600	400	5588	64.946.030		

2.4. Projelerin Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon Algoritması (TLBO) Kullanılarak Çözümü

Bir önceki bölümde orijinal MAWA'dan esinlenilerek çalışmada sunulan yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarının, literatürden alınan çeşitli büyüklükteki yapım işi projelerinin zaman-maliyet ödünleşim problemlerinin çözüme olan katkıları incelenmiştir. Bu incelemede orijinal MAWA'nın GA ile birlikte kullanılması nedeni ile optimizasyon algoritması olarak GA kullanılmıştır.

Bu bölümde ise çalışmada önerilen yaklaşımların performanslarında GA'dan farklı bir optimizasyon algoritması kullanılması durumunda bir değişme olup olmayacağını gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bir önceki bölümde dikkate alınan yapım işi projelerinin zaman-maliyet ödünleşim problemlerinin çözümleri TLBO algoritması kullanılarak yeniden tekrarlanmıştır. TLBO optimizasyonunda 7 aktivite için 5 popülasyon 10 iterasyon, 14 aktivite için 10 popülasyon 30 iterasyon, 18 aktivite için 40 popülasyon 70 iterasyon, 63 aktivite için 180 popülasyon 450 iterasyon ve 630 aktivite için 250 popülasyon 450 iterasyon kullanılmıştır. Çünkü TLBO popülasyonun iki kez üst üste değerlendirildiği öğretme ve öğrenme aşamalarını içermektedir.

Yukarıda belirtildiği üzere bu bölümde de performans değerlendirilmesinin yapılacağı yapım işi projeleri bir önceki bölümde dikkate alınan projeler ile aynı olduklarından, projeler ile ilgili bilgiler yeniden verilmemiştir.

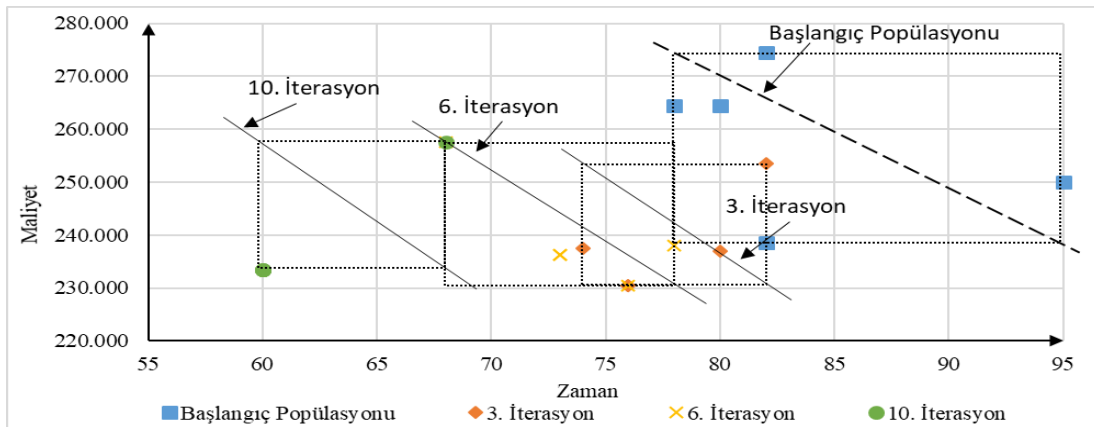
2.4.1. 7 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü

Çalışmada önerilen ve orijinal değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımları, TLBO kullanılarak bir kez gerçekleştirilen optimizasyon süreci boyunca projenin tamamlanma süresi ve toplam maliyetinde ardışık iterasyon adımlarıyla gerçekleşen iyileştirmeler ile son iterasyon adımının sonunda ulaşılan en iyi sonuçları veren aktivite alternatiflerini gösteren değerler ile bunlara ait zaman ve maliyet değerleri Tablo 28’de verilmektedir.

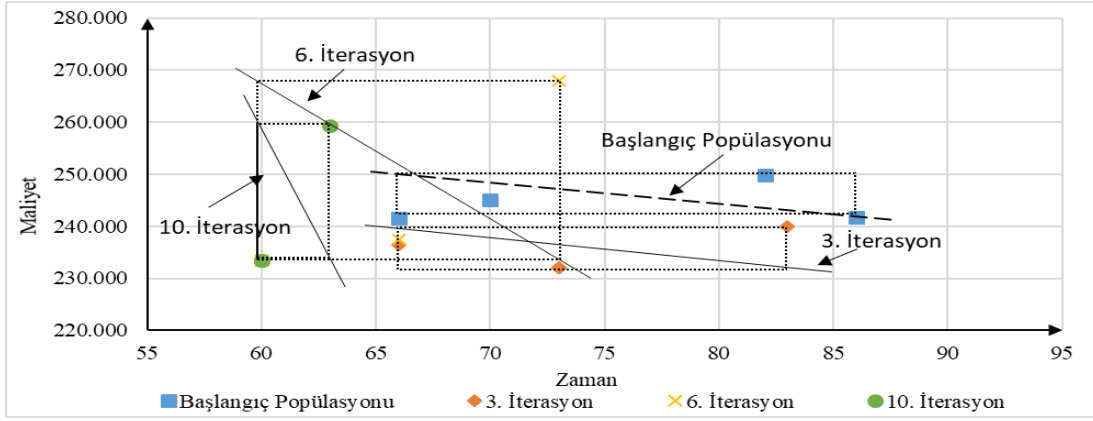
Tablo 28. 7 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar

	Popülasyon							Zaman (gün)	Maliyet (\$)
	1	1	1	1	1	3	1		
MAWA	1	1	1	1	1	3	1	60	233.500
MAWA_O1	1	1	1	1	1	3	1	60	233.500
MAWA_O2	1	1	1	1	1	3	1	60	233.500
MAWA_O3	1	1	1	1	1	3	1	60	233.500
MAWA_O4	1	1	1	1	1	3	1	60	233.500

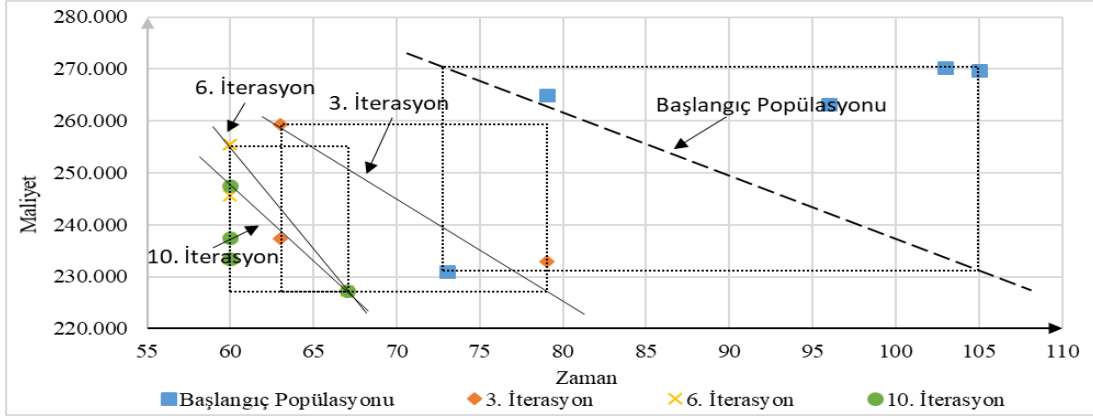
Bir kez tekrarlanan optimizasyon süreçlerinde performans değerlendirmesi yapılan tüm yaklaşımların başlangıç ve ardışık iterasyonlardaki zaman-maliyet iyileştirme adımları sırası ile her bir yaklaşım için Şekil 37-41’de verilmiştir.



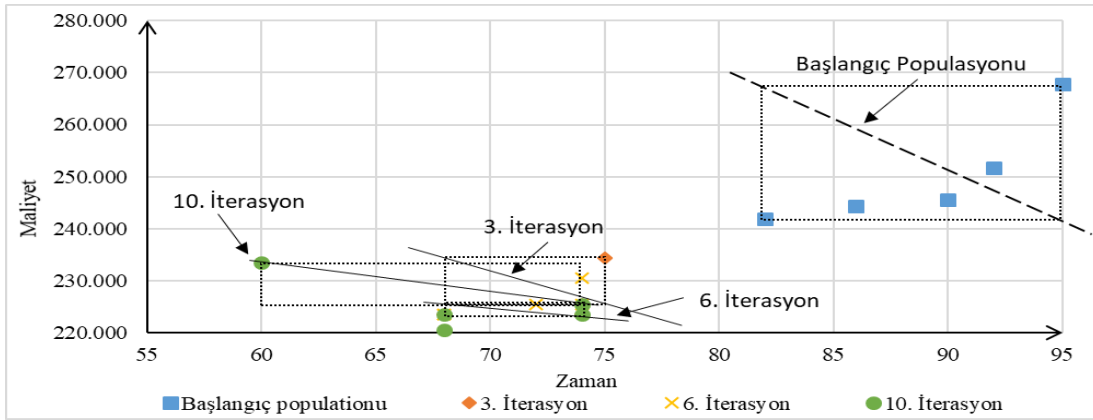
Şekil 37. Orijinal MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi



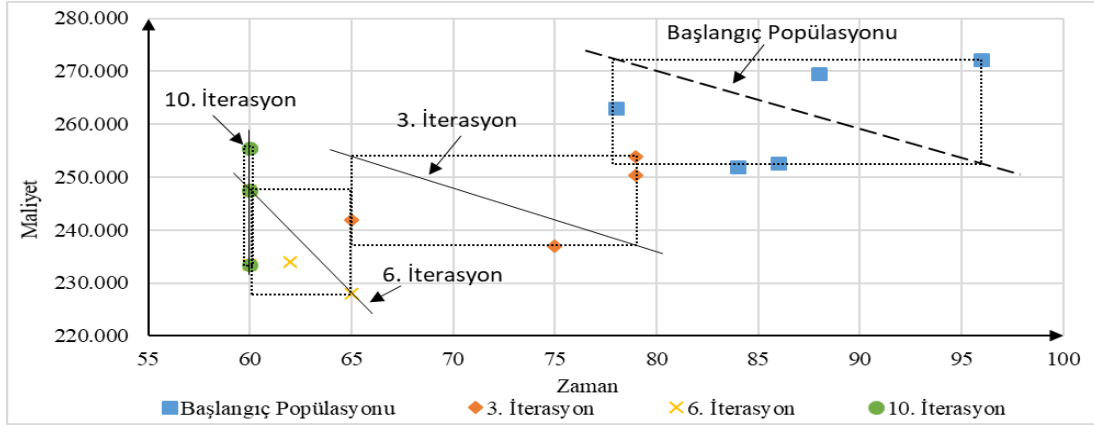
Şekil 38. MAWA_O1 formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi



Şekil 39. MAWA_O2 formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi



Şekil 40. MAWA_O3 formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi



Şekil 41. MAWA_O4 formülleri ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sürecine ait zaman-maliyet değişimi

Şekil 37-41 ile verilen grafikler incelendiğinde farklı başlangıç noktalarından hareketle her bir değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı ve TLBO ile gerçekleşen optimizasyon süreçlerinin sonunda ilgili problemin global optimum veya alternatif global optimum sonucuna ulaşılabilmektedir.

7 aktiviteli projenin her bir yaklaşım ve TLBO kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinin 10 kez tekrarlanması sonucunda ulaşılan en iyi değerler Tablo 29’da verilmektedir.

Tablo 29. 7 aktiviteli yapıım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	60	233.500	60	237.500	60	233.500	68	220.500	60	237.500
2	60	233.500	63	227.400	60	233.500	63	228.000	60	233.500
3	63	227.400	60	237.500	60	233.500	60	233.500	60	237.500
4	60	233.500	60	233.500	60	233.500	60	233.500	61	234.000
5	60	237.500	60	233.500	60	237.500	68	220.500	63	227.400
6	60	233.500	60	233.500	60	240.500	63	225.500	60	245.500
7	60	237.500	62	233.000	60	233.500	68	220.500	60	255.500
8	68	220.500	60	237.500	60	237.500	63	225.500	60	237.500
9	60	233.500	61	234.000	61	234.000	68	220.500	60	233.500
10	60	233.500	60	233.500	60	233.500	68	220.500	60	233.500
Global sonuç			60 Gün				233.500 \$			

Tablo 29’da sunulan sonuçlara göre TLBO ile 7 aktiviteli projede tüm yaklaşımların global optimum sonuca ulaştığı görülmektedir. Bu nedenle 7 aktiviteli projelerde TLBO ile tüm yaklaşımların kullanılabilceği söylenebilir.

Tablo 30, 7 aktiviteli proje ile ilgili literatürden alınan sonuçlar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçları göstermektedir.

Tablo 30. 7 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması

Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
Zhang ve Ng (2012)	Karınca kolonisi-MAWA	6		61	234.000
		12		63	225.000
		17		68	220.500
Kuang ve Xiong (2006)	Karınca kolonisi-MAWA	50	40	60	233.500
				67	224.000
	GA-MAWA	50	40	66	236.500
				73	251.500
Dede (2018)	TLBO-MAWA			60	233.500
				68	220.500
Parveen ve Saha (2012)	GA-MAWA			60	233.500
Zheng vd. (2004)	GA-MAWA	5	5	66	236.500
Xiong ve Kuang(2008)	Karınca kolonisi-MAWA	50	100	60	233.500
				68	220.500
Eirgash (2018)	TLBO-MAWA	10	5	60	233.500
				68	220.500
Azeez ve Alsaffar(2014)	Karınca kolonisi-MAWA	20	10	60	233.500
				68	220.500
Magalhães-Mendes (2015)	GA-MAWA	50	5	63	225.500
Toğan ve Eirgash (2019a)	TLBO-MAWA	10	5	60	233.500
				68	220.500
Bu Çalışma	TLBO-MAWA	10	5	60	233.500
				68	220.500
	TLBO-MAWA_O1	10	5	60	233.500
				63	227.400
	TLBO-MAWA_O2	10	5	60	233.500
				68	220.500
TLBO-MAWA_O3	10	5	60	233.500	
			68	220.500	
TLBO-MAWA_O4	10	5	60	233.500	
			63	227.400	

Sonuçlara bakıldığında bir çok çalışmada optimum sonuca ulaşıldığı görülmektedir. Bu çalışmada da yeni önerilen ve orijinal değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarının TLBO ile birlikte global optimum sonuca ulaşabildiği görülmektedir.

2.4.2. 14 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü

Bir önceki bölümde veri seti verilen ve GA optimizasyon yöntemi ile incelenen 14 aktiviteli proje bu bölümde de TLBO ve çalışmada dikkate alınan farklı MAWA'lar ile yeniden incelenmiştir. Optimizasyon sürecinin her bir yaklaşım için bir kez tekrarlanması ile elde edilen en iyi sonuçları veren bireyler ile bunların ürettiği zaman ve maliyet değerleri Tablo 31'de verilmiştir.

Tablo 31. 14 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar

	Popülasyon												Zaman (Gün)	Maliyet (€)		
MAWA	1	3	3	3	6	2	3	6	5	2	5	1	1	1	33	128.991
MAWA_O1	1	2	2	1	5	1	3	4	2	2	5	1	1	1	27	146.469
MAWA_O2	1	1	1	1	5	1	1	1	1	2	5	1	1	1	23	167.367
MAWA_O3	4	3	4	7	6	3	4	4	6	3	5	1	1	1	43	118.042
MAWA_O4	1	1	1	1	4	1	3	3	1	2	3	1	1	1	25	161.173

TLBO ve farklı değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarının her biri için 10'ar kez tekrarlanan optimizasyon süreçlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 32'de sunulmaktadır.

Tablo 32. 14 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	27	161.852	27	146.469	23	176.700	44	121.718	23	178.900
2	36	136.375	27	156.619	23	167.367	39	119.981	27	157.585
3	33	128.991	30	143.560	23	171.000	44	121.742	24	170.265
4	34	145.586	26	156.508	23	167.367	44	120.586	23	171.667
5	24	173.231	23	175.100	23	168.634	42	119.974	24	172.365
6	30	143.493	27	151.802	23	168.634	46	120.936	23	168.634
7	25	163.506	23	177.100	23	167.367	45	126.922	23	175.567
8	35	131.176	27	157.485	23	167.367	51	124.167	25	161.173
9	23	171.867	27	152.035	23	167.367	43	118.042	23	171.967
10	31	135.861	25	159.607	23	168.634	42	130.814	24	162.898
Prašević ve Prašević (2014) sonuçları			30 Gün				150.910 €			
			35 Gün				136.009 €			
			37 Gün				129.313 €			
			45 Gün				120.769 €			
			48 Gün				119.739 €			

Tablo 32'deki sonuçlardan da görüldüğü üzere en düşük zamana 23 gün ile MAWA_O2 ve en düşük maliyete 118.042€ ile MAWA_O3 ulaşmıştır. Tüm MAWA'lar ile elde edilen sonuçların Prašević ve Prašević (2014)'in çalışmasındaki sonuçlarından daha iyi olduğu görülmektedir.

2.4.3. 18 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü

Projenin çalışmada yeni olarak önerilen ve orijinal değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon sürecinin bir kez gerçekleştirilmesiyle elde edilen en iyi sonuçlara ait bireyler ve bu bireylerin ürettiği zaman ve maliyet değerleri Tablo 33'te verilmiştir.

Tablo 33.18 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar

	Popülasyon																	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	
MAWA	1	5	3	3	3	1	3	5	1	1	2	1	3	3	1	5	1	1	100	283.320
MAWA_O1	1	5	3	3	3	1	3	5	1	1	1	1	3	3	1	5	1	1	100	283.420
MAWA_O2	1	5	3	3	4	1	3	1	1	1	2	1	3	3	1	5	1	1	101	279.920
MAWA_O3	1	5	3	3	4	3	3	5	1	1	3	1	3	3	1	5	1	1	110	271.270
MAWA_O4	1	5	3	3	3	1	3	3	1	1	1	1	3	3	1	5	1	1	100	283.500

Öte yandan projenin yukarıda bahsedilen optimizasyon süreçlerinin 10'ar kez tekrarlanmasıyla her bir koşum sonunda elde edilen en iyi sonuçlar Tablo 34'te verilmiştir.

Tablo 33'deki sonuçlara göre MAWA, proje zamanı açısından global optimum sonuca ulaşırken MAWA_O1 ve MAWA_O4 ise bu global sonuca çok yakın sonuçlar elde etmiştir. MAWA_O3 ise proje toplam maliyeti açısından bir diğer global optimum sonuca ulaşmıştır.

Tablo 34. 18 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	100	283.420	100	285.520	101	280.820	110	271.270	100	285.520
2	100	285.420	101	280.020	101	280.720	110	274.720	100	285.520
3	100	286.920	100	284.220	101	280.020	110	271.270	100	286.315
4	100	284.320	100	283.520	101	280.020	110	272.170	100	287.700
5	100	283.420	100	288.920	101	280.720	110	272.070	100	288.520
6	100	284.320	100	284.720	101	280.420	110	272.170	100	283.520
7	100	283.320	100	285.520	101	280.000	110	271.520	100	285.720
8	100	283.320	100	284.320	101	280.020	110	271.520	100	287.020
9	100	283.520	100	283.420	101	280.020	110	272.300	100	284.320
10	100	283.320	100	283.420	101	279.920	110	271.270	100	283.500
Global sonuçlar			100 Gün				283.320 \$			
			110 Gün				271.270 \$			

Tablo 35’de projenin literatürden alınan sonuçları ile bu çalışmada ulaşılan optimizasyon sonuçları verilmiştir.

Tablo 35. 18 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması

18 aktiviteli yapım projesi	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Bassuony (2016)	GA-MAWA	100-200	50-100	104	296.700
107					291.420	
106					295.170	
Ng ve Zhang (2008)	GA-MAWA	500	50	100	287.720	
				110	273.720	
	ACO-MAWA	200	10	100	283.320	
Zhang ve Ng (2012)	GA-MAWA	500	50	100	287.720	
				110	273.720	
	ACS-MAWA	200	10	100	283.320	
				110	271.320	
	ACS-SGPU-MAWA	200	10	100	285.400	
110				273.165		
Afshar vd. (2009)	Karınca Kolonisi-MAWA	240	50	100	283.320	
				110	271.270	
Toğan ve Eirgash (2019a)	TLBO-MAWA	40	70	100	283.420	
				110	273.470	
Zheng ve dig (2005)	GA-MAWA	500	50	100	287.720	
				110	273.720	
Sönmez ve Bettemir (2012)	Hybrid GA	100	80	110	271.270	

Tablo 35'in devamı

18 aktiviteli yapım projesi	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Eirgash ve Dede (2018)	ITLBO-MAWA	70	40	100	283.320
					110	271.270
	Eirgash (2018)	MAWA-TLBO	70	40	100	283.420
					110	273.470
	Li ve Wang (2009)	GA-MAWA	500	50	100	287.720
					110	273.730
		ACO-MAWA	200	40	100	283.320
					110	271.320
		Memetic Algorithm (MA)-MAWA	200	40	100	281.890
					110	270.340
	Bu Çalışma	TLBO-MAWA	70	40	100	283.320
		TLBO-MAWA_O1	70	40	100	283.420
					101	280.020
		TLBO-MAWA_O2	70	40	101	279.920
		TLBO-MAWA_O3	70	40	110	271.270
		TLBO-MAWA_O4	70	40	100	283.500

Elde edilen sonuçlar literatürdeki birçok çalışmada olduğu gibi 100 gün ve 283 bin \$ maliyet şeklindedir. Buna ek olarak sadece TLBO-MAWA_O3'ün 110 gün ve 271.270\$ optimum sonucuna ulaştığı görülmektedir.

2.4.4. 63 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü

İki farklı dolaylı maliyet değeri ile iki farklı durum olarak zaman-maliyet ödünleşim problemi çözümü aranan 63 aktiviteli yapım işi projesinin, ilk durum olan (63a) 2300\$/gün dolaylı maliyet değeri kullanılarak farklı MAWA'lar için TLBO ile elde edilen sonuçları Tablo 36 ve 37'de verilmektedir.

Tablo 36 belirtilen optimizasyon süreçlerinin bir kez tekrarlanması sonucunda ulaşılan sonuçları gösterirken, Tablo 37 ise aynı süreçlerin ardışık olarak 10 kez tekrarlanmasıyla her bir tekrarın sonunda ulaşılan en iyi sonuçları göstermektedir.

Tablo 36. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar (63a)

	Popülasyon																				Zaman (Gün)	Maliyet (\$)														
MAWA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	637	5.421.620													
MAWA_O1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	630	5.412.420													
MAWA_O2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	5	4	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	3	1	2	3	1	3	1	5	1	5	1	604	5.641.360
MAWA_O3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	639	5.425.220
MAWA_O4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	630	5.412.420

Tablo 37. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (63a)

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	630	5.421.470	637	5.421.620	531	5.837.020	655	5.429.820	634	5.422.920
2	637	5.424.330	653	5.436.870	534	5.784.200	653	5.429.820	630	5.421.420
3	635	5.423.020	648	5.431.320	534	5.782.890	645	5.425.420	631	5.427.120
4	646	5.431.320	637	5.421.620	548	5.702.180	643	5.426.020	629	5.423.270
5	641	5.423.570	630	5.421.420	526	5.850.310	657	5.430.720	630	5.421.470
6	634	5.422.920	637	5.421.620	530	5.810.320	653	5.429.820	633	5.421.620
7	639	5.423.320	634	5.422.920	529	5.815.670	656	5.432.920	629	5.423.270
8	637	5.421.620	639	5.426.620	543	5.740.040	643	5.424.470	633	5.423.020
9	639	5.423.320	633	5.422.270	532	5.799.490	653	5.428.870	630	5.432.720
10	633	5.421.420	633	5.422.270	604	5.641.360	639	5.425.220	630	5.427.170
Global Sonuç			630 Gün				5.421.120 \$			

63a için verilen global optimum sonuç dikkate alındığında hiçbir optimizasyon sürecinin global optimum sonuç ile sonlanmadığı ancak özellikle MAWA_O4, MAWA_O1 ve MAWA'nın problemin global optimum sonucuna oldukça yakın sonuçlara TLBO ile ulaşabildikleri görülmektedir.

Elde edilen sonuçların, ilgili literatürden alınan sonuçlar ile karşılaştırması Tablo 38'de verilmiştir.

Tablo 38. 63 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (63a)

63 aktiviteli yapım projesi (63a)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Toğan ve Eirgash (2019a)	GA-MAWA		500	500	517
528						5.687.020
PSO-MAWA			500	500	581	5.858.295
					594	5.701.200
					614	5.644.640
TLBO-MAWA		450	180	627	5.588.485	
				602	5.480.820	
Eirgash ve Dede (2018)	ITLBO-MAWA		200	120	602	5.480.820
Eirgash (2018)	TLBO-MAWA		450	180	614	5.644.640
					630	5.600.190
Bu çalışma	TLBO-MAWA		450	180	630	5.421.470
					630	5.421.420
					526	5.850.310
					604	5.641.360
					639	5.425.220
					643	5.424.470
TLBO-MAWA_O4		450	180	629	5.423.270	
				630	5.421.420	

Tablo 38’de verilen sonuçlara göre çalışmada sunulan yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarından biri olan MAWA_O2 ile gerçekleştirilen optimizasyon süreci haricindeki tüm optimizasyon süreçlerinden literatürde problemin çözümü için verilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. 63 aktiviteli yapım işi projesinin 3500\$/gün dolaylı maliyet değeri ile bir kez daha incelendiği ikinci durumun (63b) farklı MAWA’lar kullanılarak ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine dair sonuçları, tek bir koşum için Tablo 39’da, 10 koşum için Tablo 40’da verilmektedir.

Tablo 39. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen en iyi sonuçlar (63b)

	Popülasyon																				Zaman(Gün)	Maliyet(\$)												
MAWA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	621	6.176.170											
	3	1	2	1	5	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	1			1	5	1	1	5	1	5				
MAWA_O1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	621	6.176.170				
	3	1	2	1	5	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5						
MAWA_O2	1	1	2	3	1	1	1	4	5	3	5	5	1	1	1	1	3	4	1	4	1	5	1	5	5	5	5	1	5	1	5	1	530	6.474.880
	5	1	5	1	5	1	5	1	4	1	1	5	1	1	1	5	1	1	1	4	1	4	5	2	1	1	5	1	5					
MAWA_O3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	629	6.181.920	
	1	1	2	1	5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5			
MAWA_O4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	621	6.177.120	
	3	1	2	1	5	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5			

Tablo 40. 63 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (63b)

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	629	6.178.970	626	6.181.770	522	6.492.385	633	6.184.970	592	6.202.640
2	629	6.178.070	621	6.176.520	521	6.498.140	639	6.190.120	621	6.177.120
3	627	6.179.020	627	6.179.770	521	6.518.480	640	6.206.670	595	6.202.520
4	621	6.177.120	629	6.179.620	531	6.484.740	633	6.184.020	595	6.206.890
5	630	6.183.170	629	6.179.070	513	6.596.580	637	6.186.970	603	6.205.240
6	621	6.178.880	621	6.178.770	529	6.498.410	630	6.182.670	616	6.209.640
7	629	6.178.070	627	6.185.720	517	6.553.920	639	6.192.020	607	6.199.470
8	630	6.186.420	627	6.180.070	520	6.506.220	639	6.190.120	621	6.178.890
9	621	6.176.170	629	6.181.170	530	6.474.880	629	6.181.920	607	6.204.440
10	629	6.178.070	621	6.176.170	531	6.480.640	639	6.190.120	595	6.184.770
Global sonuç			621 Gün			6.176.170 \$				

İlgili tablolarda (Tablo 39 ve 40) sunulan sonuçlara göre TLBO ile MAWA ve MAWA_O1'in optimum global sonuca ulaştıkları görülmektedir. Bunu çok küçük maliyet farkıyla MAWA_O4 izlemektedir. MAWA_O3'ün hem zaman hem de maliyet açısından ilk üç MAWA kadar iyi performans göstermediği görülmektedir. MAWA_O2 ise daha çok zaman açısından öncelikle alternatif çözümler içeren sonuçlara ulaşmıştır.

Daha önceki örneklerde olduğu üzere orijinal MAWA kullanılarak ve farklı optimizasyon algoritmaları ile gerçekleştirilen oprimizasyon süreçleriyle ulaşılan literatür sonuçlarının çalışmada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırması Tablo 41'de verilmiştir.

Tablo 41. 63 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (63b)

63 aktiviteli yapım projesi (63b)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Toğan ve Eirgash (2019a)	GA-MAWA		500	500	513
525						6.322.020
PSO-MAWA			500	500	608	6.428.310
					TLBO-MAWA	
Eirgash ve Dede (2018)	ITLBO-MAWA		200	120	622	6.191.940
					627	6.188.140
Eirgash (2018)	TLBO-MAWA		450	180	613	6.261.820

Tablo 41'in devamı

63 aktiviteli yapım projesi (63b)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Bu çalışma	TLBO-MAWA	450	180	621	6.176.170
		TLBO-MAWA_O1	450	180	621	6.176.170
		TLBO-MAWA_O2	450	180	513	6.596.580
					530	6.474.880
		TLBO-MAWA_O3	450	180	629	6.181.920
		TLBO-MAWA_O4	450	180	592	6.202.640
621	6.177.120					

Tablo 41'deki sonuçlara göre MAWA_O2 kullanılarak elde edilen sonuçlar haricinde bu çalışmadan elde edilen tüm sonuçlar literatürdeki sonuçlardan daha iyidir.

2.4.5. 630 Aktiviteli Projenin TLBO ile Çözümü

63 aktiviteli yapım işi projesinin 10 kez ardışık olarak tekrarlanması ile türetilen 630 aktiviteli yapım işi projesinde iki farklı dolaylı maliyet değeri (2300\$/gün ve 3500\$/gün) için iki farklı durum (630a ve 630b) olarak incelenmiştir.

İlk durum olan 630a için gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinin 10 kez tekrarlanmasıyla elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların en iyilerinin literatürden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırması sırası ile Tablo 42 ve 43'te verilmiştir.

Tablo 42. 630 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (630a)

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	6624	54.467.700	6582	54.447.000	5245	60.205.645	6737	54.578.550	6501	54.445.110
2	6664	54.500.960	6626	54.485.620	5251	60.243.835	6724	54.513.000	6446	54.346.160
3	6602	54.432.150	6590	54.463.400	5257	60.069.205	6779	54.584.910	6455	54.386.660
4	6647	54.506.500	6581	54.436.560	5269	59.951.690	6787	54.617.300	6533	54.437.950
5	6663	54.542.550	6616	54.469.460	5246	60.128.555	6760	54.584.150	6443	54.370.990
6	6681	54.525.150	6487	54.352.830	5212	60.275.385	6717	54.568.850	6474	54.408.270
7	6596	54.444.660	6632	54.508.150	5231	60.342.485	6776	54.599.950	6482	54.416.900
8	6557	54.424.510	6546	54.422.160	5223	60.483.435	6779	54.605.100	6467	54.401.660
9	6604	54.464.850	6535	54.417.860	5226	60.303.665	6846	54.638.710	6493	54.416.610
10	6677	54.513.860	6641	54.495.150	5262	60.028.305	6762	54.569.100	6431	54.376.010
Global sonuç			6300 Gün				54.211.200 \$			

Tablo 43. 630 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (630a)

630 aktiviteli yapım projesi (630a)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Eirgash (2018)	TLBO - NDS	450	250	6300	54.992.260
	6373				54.611.340	
Toğan ve Eirgash (2019b)	MTLBO - NDS	250	100	6342	54.720.110	
				6447	54.682.080	
Bu çalışma	TLBO-MAWA	450	250	6557	54.424.510	
	TLBO-MAWA_O1	450	250	6487	54.352.830	
	TLBO-MAWA_O2	450	250	5212	60.275.385	
				5269	59.951.690	
	TLBO-MAWA_O3	450	250	6717	54.568.850	
				6724	54.513.000	
TLBO-MAWA_O4	450	250	6431	54.376.010		
			6446	54.346.160		

Tablo 42’de verilen sonuçlara göre hiçbir MAWA problemin global optimum sonucuna ulaşamamıştır. MAWA_O2 zaman açısından çok daha iyi sonuca ulaşsa da bu durum maliyeti çok artırmıştır. Global optimum sonuca en yakın sonuçları sırasıyla MAWA_O4, MAWA, MAWA_O1 ve MAWA_O3 elde etmiştir.

Literatürde, ilgili problemin çözümü çoğunlukla NDS yöntemi kullanılarak farklı optimizasyon algoritmalarıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada MAWA kullanılarak ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçleri sonuçları ile literatür sonuçları karşılaştırıldığında, bu sonuçların çalışmada elde edilenlerden kullanılan yöntem gereği daha iyi olduğu görülmektedir.

Projenin ikinci durumu olan 630b için farklı MAWA’lar kullanılarak ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerinden elde edilen sonuçlar ile bu sonuçların literatür karşılaştırması sırası ile Tablo 44 ve 45’de verilmiştir.

Tablo 44. 630 aktiviteli yapım projesinin farklı MAWA formülleri ve TLBO kullanılarak elde edilen çözümlerinin en iyi sonuçları (630b)

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
1	6339	62.143.010	6413	62.180.210	5160	67.578.335	6606	62.430.950	6164	62.099.770
2	6351	62.080.090	6359	62.097.720	5189	67.369.985	6662	62.512.070	6185	62.116.640
3	6340	61.996.220	6413	62.180.210	5158	67.617.835	6561	62.467.860	6218	62.040.310
4	6339	62.143.010	6359	62.097.720	5156	67.709.500	6592	62.401.450	6189	62.103.680
5	6351	62.080.090	6324	62.076.200	5162	67.492.220	6528	62.276.220	6190	62.130.460

Tablo 44'ün devamı

Koşum Sayısı	MAWA		MAWA_O1		MAWA_O2		MAWA_O3		MAWA_O4	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
6	6340	61.996.220	6419	62.140.820	5169	67.563.000	6495	62.366.450	6174	62.080.350
7	6338	62.066.960	6296	61.927.610	5196	67.412.060	6525	62.358.860	6154	62.040.680
8	6339	62.143.010	6365	62.076.450	5177	67.404.310	6562	62.344.870	6224	62.123.460
9	6351	62.080.090	6338	62.067.810	5173	67.605.740	6589	62.411.840	6205	62.078.320
10	6388	62.209.870	6421	62.178.780	5184	67.505.970	6572	62.360.500	6176	62.038.640
Global sonuç			6210 gün				61.761.700 \$			

Tablo 45. 630 aktiviteli yapım projesinin çalışmada elde edilen sonuçları ile literatürde verilen sonuçlarının karşılaştırması (630b)

630 aktiviteli yapım projesi (630b)	Yazarlar	Kullanılan Yöntem	İterasyon Sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
	Eirgash (2018)		TLBO - NDS	450	250	6127
6225						62.586.260
Toğan ve Eirgash (2019b)		MTLBO - NDS	250	100	6030	62.704.580
					6204	62.591.490
Bu çalışma		TLBO-MAWA	450	250	6338	62.066.960
					6340	61.996.220
					6296	61.927.610
					5156	67.709.500
					5189	67.369.985
					6495	62.366.450
TLBO-MAWA_O1	450	250	450	250	6528	62.276.220
					6154	62.040.680
TLBO-MAWA_O2	450	250	450	250	6176	62.038.640
TLBO-MAWA_O3	450	250	450	250		
TLBO-MAWA_O4	450	250	450	250		

10 kez tekrarlanan optimizasyon süreçleri sonunda elde edilen ve Tablo 44'te verilen en iyi sonuçlar incelendiğinde MAWA_O4'ün optimum maliyete yakın sonuçlara ulaştığı optimum zamandan ise daha düşük zaman değerlerine ulaştığı görülmektedir. Problemin global optimum sonucu dikkate alındığında MAWA_O4'ün performansının diğerlerinden daha iyi olduğu söylenebilir. Performanslar açısından MAWA_O4'ü MAWA_O1 ve MAWA takip etmektedir. Global optimum sonuca en yakın bir sonraki yaklaşım ise MAWA_O3'tür. MAWA_O2 daha önce incelenen orta ve/veya büyük ölçekli projelerde olduğu gibi en düşük proje tamamlanma süresine sahip ancak yüksek maliyetli çözüm seçeneklerini elde etmektedir.

Tablo 45'deki sonuçlara göre MTLBO-NDS ile yapılan optimizasyon en iyi sonuçlara ulaşmıştır. Bunu TLBO-MAWA_O4 takip etmektedir. Diğer MAWA'lar ise NDS sonuçları kadar başarılı sonuçlar vermemektedir.

2.5. Optimizasyon Algoritmalarının Performanslarının Karşılaştırılması

Daha önceki bölümlerde proje kapsamında dikkate alınan küçük, orta ve büyük ölçekli olarak yapım işi projelerinin zaman-maliyet ödünleşim problemleri, çalışmada sunulan yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımları ve bu yaklaşımın orijinal hali kullanılarak öncelikle GA ile sonrasında TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçleri aracılığıyla çözülmüştür. Optimizasyon süreçlerinin ilk önce GA ile gerçekleştirilme sebebi, MAWA'nın ilk olarak bu yöntemle birlikte uygulanmasıdır. Böylelikle optimizasyon yöntemi sabit tutulup, çalışmada önerilen yeni MAWA yaklaşımlarının performansları incelenmiştir. Farklı bir optimizasyon algoritmasının kullanılmasının performansa etkisinin olup olmayacağının göstermek içinde dikkate alınan projeler bir kez daha TLBO ile incelenmiştir.

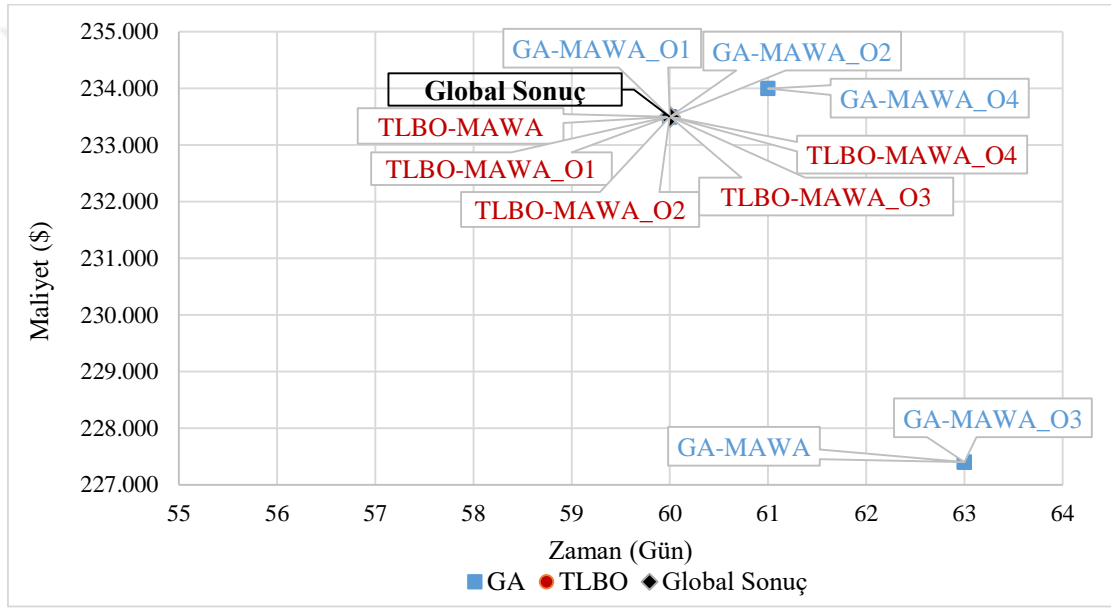
Bu bölümde, projelerin zaman-maliyet ödünleşim problemleri çözümlerinde bu iki optimizasyon yönteminden hangisinin çalışmada önerilen veya orijinal MAWA ile daha iyi performans gösterdiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu durumun tespiti için her bir proje için bahsedilen süreçlerin sonunda elde edilen ve daha önceki bölümlerde verilen en iyi çözümlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

2.5.1. 7 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması

7 aktiviteli yapım işi projesinin zaman-maliyet ödünleşim probleminin çalışmada önerilen ve orijinal MAWA yaklaşımları kullanılarak GA ve TLBO ile gerçekleştirilen optimizasyon süreçleri sonunda ulaşılan çözümleri Tablo 46'da, bu sonuçların grafiksel karşılaştırması ise Şekil 42'de sunulmaktadır.

Tablo 46. 7 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması

	GA		TLBO	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
MAWA	63	227.400	60	233.500
MAWA_O1	60	233.500	60	233.500
MAWA_O2	60	233.500	60	233.500
MAWA_O3	63	227.400	60	233.500
MAWA_O4	61	234.000	60	233.500
Global Sonuç	60 Gün		233.500 \$	



Şekil 42. 7 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar

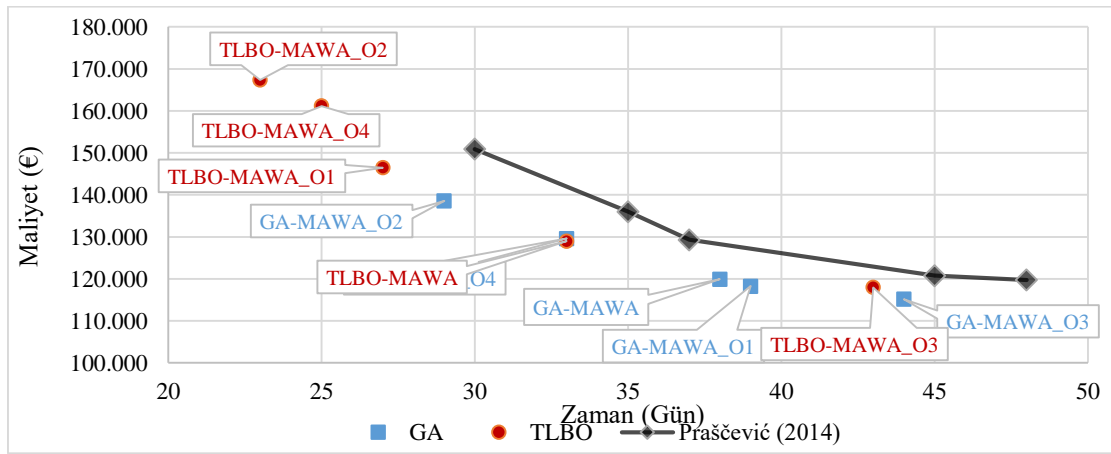
Tablo 46 ve Şekil 42'den de görüldüğü üzere TLBO 7 aktiviteli projede tüm MAWA yaklaşımları ile global optimum sonuca ulaşmasına rağmen GA ile sadece MAWA_O1 ve MAWA_O2 ile global optimum sonuca ulaşılmıştır. Buna göre 7 aktiviteli projede TLBO'nun optimizasyon performansının GA'dan daha iyi olduğu söylenebilir.

2.5.2. 14 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması

14 aktiviteli proje ile ilgili, literatürde global sonuçlar mevcut değildir. Bu proje ile ilgili yapılan literatür araştırmasında sadece veri setinin de alındığı Prašcević ve Prašcević (2014)'ün çalışmasına ulaşılmıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar karşılaştırılırken global sonuçlar yerine Prašcević ve Prašcević (2014)'ün çalışmasında bulunduğu sonuçlar kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ile ilgili çalışmada verilen sonuçların karşılaştırması Tablo 47'de ve grafiği Şekil 43'te verilmiştir.

Tablo 47. 14 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması

	GA		TLBO	
	Zaman (Gün)	Maliyet (€)	Zaman (Gün)	Maliyet (€)
MAWA	38	119.902	33	128.991
MAWA_O1	39	118.264	27	146.469
MAWA_O2	29	138.553	23	167.367
MAWA_O3	44	115.185	43	118.042
MAWA_O4	33	129.591	25	161.173
Prašcević ve Prašcević (2014)	30 Gün		150.910 €	
	35 Gün		136.009 €	
	37 Gün		129.313 €	
	45 Gün		120.769 €	
	48 Gün		119.739 €	



Şekil 43. 14 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar

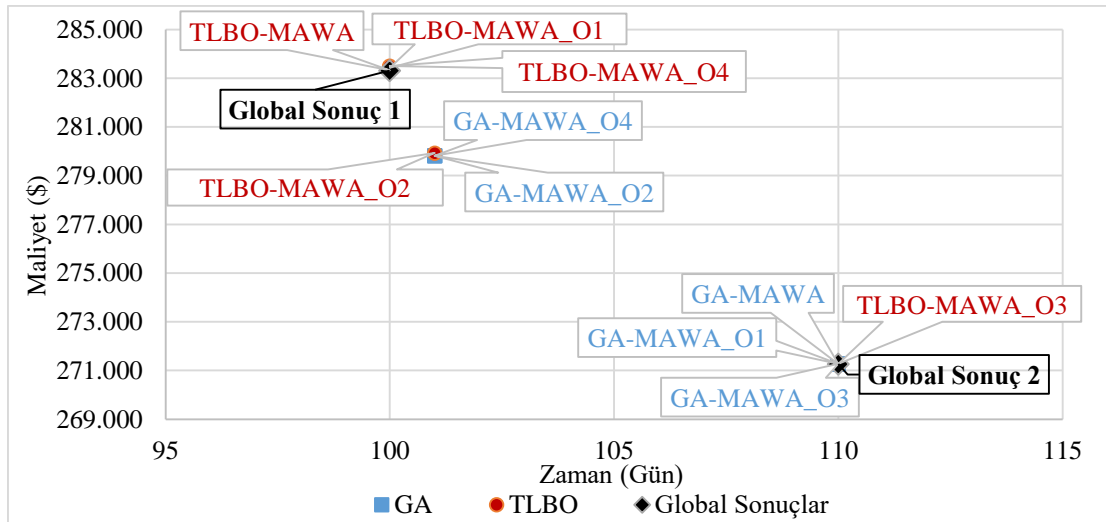
Şekil 43'ten de görüldüğü gibi hem GA hem de TLBO'daki tüm sonuçlar Prašcević ve Prašcević (2014)'ün sonuçlarından daha iyidir. Ayrıca bu projede GA daha çok maliyet odaklı sonuçlar bulurken TLBO, MAWA_O3 haricinde zaman odaklı sonuçlara ulaşmıştır.

2.5.3. 18 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması

18 aktiviteli projeye ait iki adet global sonuç mevcuttur. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılırken bu iki değer referans olarak kabul edilecektir. 18 aktiviteli projede GA ve TLBO performans karşılaştırması Tablo 48'de ve grafiği Şekil 44'te verilmiştir.

Tablo 48. 18 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması

	GA		TLBO	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
MAWA	110	271.270	100	283.320
MAWA_O1	110	271.270	100	283.420
MAWA_O2	101	279.820	101	279.920
MAWA_O3	110	271.270	110	271.270
MAWA_O4	101	279.820	100	283.500
Global Sonuçlar	100 Gün		283.320 \$	
	110 Gün		271.270 \$	



Şekil 44. 18 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar

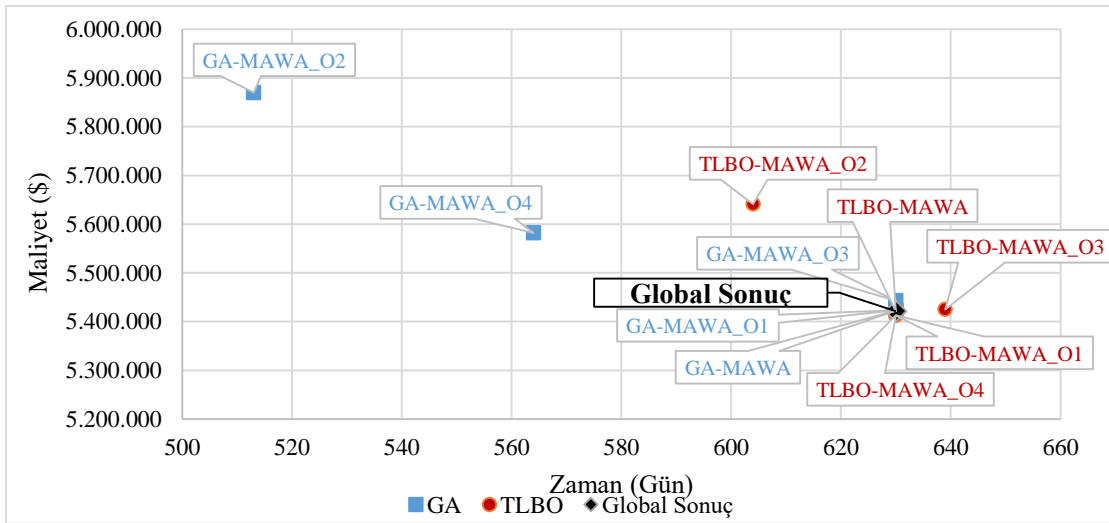
Şekil 44'ten de görüldüğü gibi TLBO ile 4 GA ile ise 3 farklı MAWA yaklaşımı global optimum sonuca ve/veya global optimum sonuca oldukça yakın sonuçlara ulaşmıştır. Bu açıdan değerlendirildiğinde 18 aktiviteli projede TLBO'nun performansının daha iyi olduğu söylenebilir. Ayrıca 14 aktiviteli projede olduğu gibi burada da GA'nın daha çok maliyet odaklı optimizasyon yaptığı TLBO'nun ise daha çok zaman odaklı optimizasyon yaptığı söylenebilir. Öte yandan her iki optimizasyonda da MAWA_O2 kötü performans göstermiştir.

2.5.4. 63 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması

63 aktiviteli projenin optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması için öncelikle 2300\$/gün dolaylı maliyete sahip olan ilk duruma (63a) ait GA-TLBO karşılaştırması Tablo 49'da ve grafiği Şekil 45'de verilmiştir.

Tablo 49. 63 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması (63a)

	GA		TLBO	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
MAWA	630	5.422.070	630	5.421.470
MAWA_O1	630	5.423.620	630	5.412.420
MAWA_O2	513	5.869.630	604	5.641.360
MAWA_O3	630	5.443.120	639	5.425.220
MAWA_O4	564	5.582.190	630	5.412.420
Global Sonuç	630 Gün		5.421.120 \$	



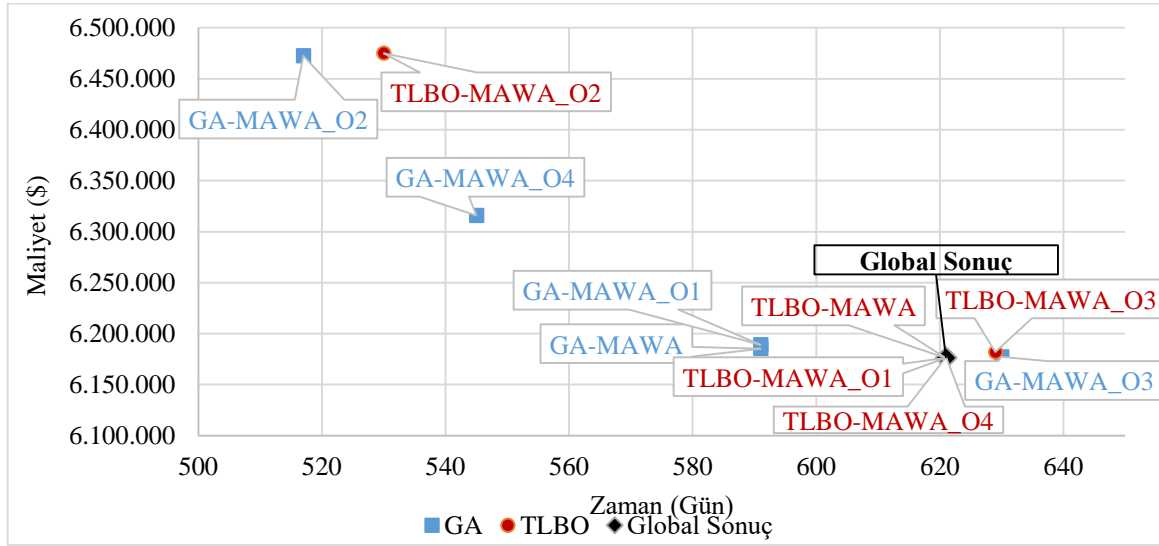
Şekil 45. 63 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar (63a)

63a durumu için hem GA hem de TLBO üç farklı yaklaşım ile global optimum sonuca ulaşmış veya çok yakın sonuç elde etmişlerdir. Her iki algoritmada da MAWA ve MAWA_O1 ile iyi performans göstermiştir. TLBO bu projede öncekilerin aksine daha çok maliyet ağırlıklı çalışmıştır. MAWA_O4'ün TLBO algoritması ile optimum sonuca ulaşabilmesine karşın GA ile çok uzak bir sonuca ulaşması bu yaklaşımın TLBO ile daha verimli çalıştığı şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca MAWA_O3 de GA ile daha iyi performans sergilemiştir. Öte yandan yine her iki optimizasyon algoritmasında da MAWA_O2 iyi performansı gösterememiştir.

Dolaylı maliyet değerinin 3500\$/gün olarak dikkate alındığı 63b durumu için elde edilen sonuçların GA ve TLBO algoritmaları açısından karşılaştırması Tablo 50'de ve grafiği Şekil 46'da verilmiştir.

Tablo 50. 63 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması (63b)

	GA		TLBO	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
MAWA	591	6.185.170	621	6.176.170
MAWA_O1	591	6.188.920	621	6.176.170
MAWA_O2	517	6.472.580	530	6.474.880
MAWA_O3	630	6.177.120	629	6.181.920
MAWA_O4	545	6.315.740	621	6.177.120
Global Sonuç	621 Gün		6.176.170 \$	



Şekil 46. 63 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar (63b)

Verilen sonuçlara göre TLBO ile üç farklı MAWA yaklaşımı ile global optimum sonuca ulaşıldığı veya çok yakın sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. GA ise hiçbir MAWA yaklaşımı ile global optimum sonuca ulaşamadığı görülmektedir.

Ancak MAWA ve MAWA_O1 yaklaşımlarının GA ile maliyeti biraz daha yükselterek zaman açısından daha düşük sonuca ulaştığı görülmektedir. Ek olarak MAWA_O4 63a'daki gibi GA'da çok kötü performans gösterirken TLBO'da optimum sonuca çok yakın sonuca ulaşmayı başarmıştır. Son olarak yine her iki algoritmada da MAWA_O2 kötü performans göstermiştir.

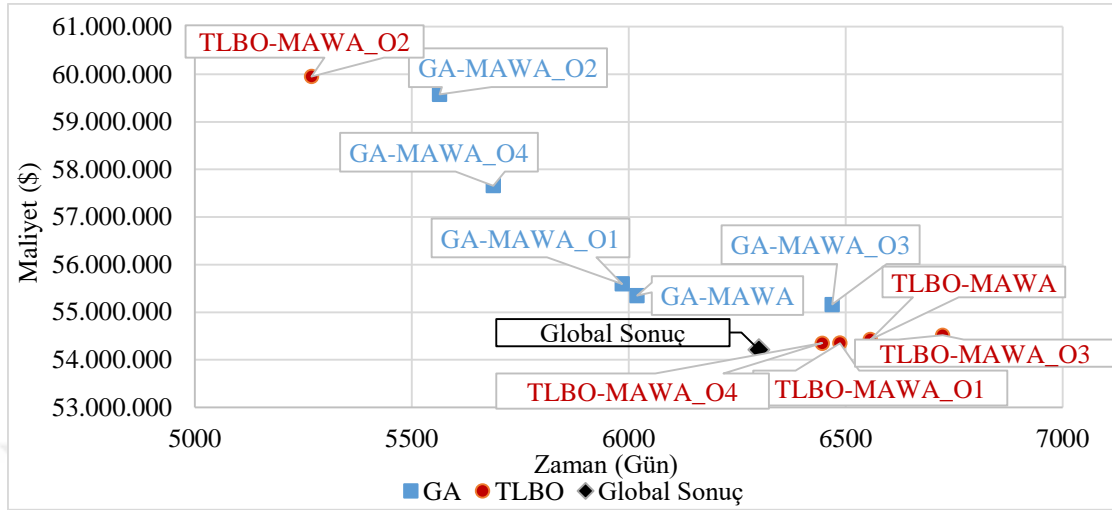
2.5.5. 630 Aktiviteli Proje İçin GA-TLBO Performans Karşılaştırması

630 aktiviteli yapım işi projesi iki farklı dolaylı maliyetten dolayı iki farklı durum olarak daha önceki bölümlerde 630a ve 630b isimleri ile incelenmiştir. İlk olarak dolaylı maliyetin 2300\$/gün olarak dikkate alındığı 630a durumuna ait ve GA ile TLBO için elde edilen sonuçların karşılaştırma tablo ve grafiği sırası ile Tablo 51 ve Şekil 47'de verilmektedir.

Tablo 51. 630 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması (630a)

	GA		TLBO	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
MAWA	6019	55.347.800	6557	54.424.510
MAWA_O1	5985	55.594.470	6487	54.352.830
MAWA_O2	5564	59.579.055	5269	59.951.690
MAWA_O3	6469	55.161.610	6724	54.513.000
MAWA_O4	5688	57.658.100	6446	54.346.160
Global Sonuç	6300 Gün		54.211.200 \$	

630 aktiviteli projenin ilk durumu için elde edilen sonuçları gösteren Şekil 47'ye göre her iki optimizasyon algoritmasıyla da global optimum sonuca ulaşamamıştır. Bu projede de TLBO daha çok maliyet odaklı optimizasyon yaparken, GA zaman odaklı optimizasyon yapmıştır.



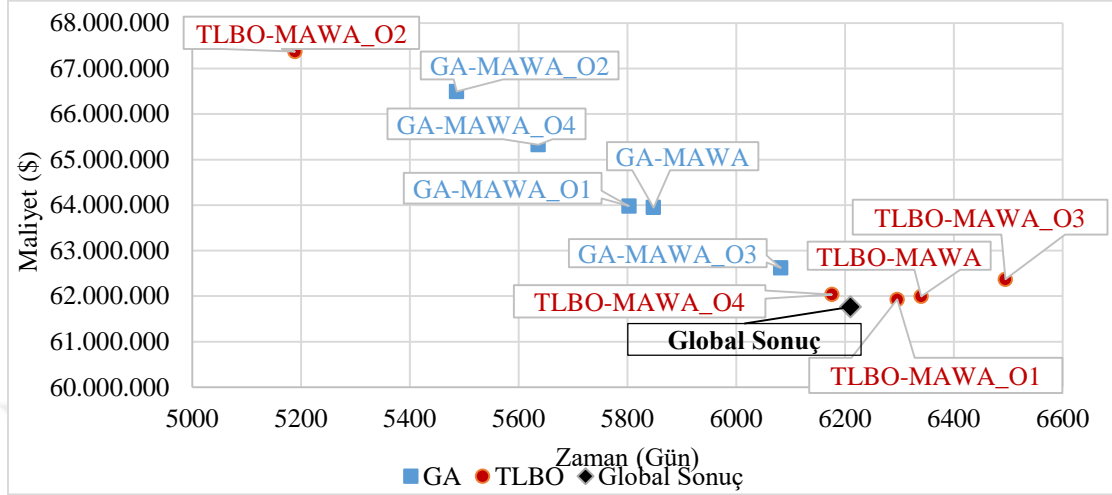
Şekil 47. 630 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar (630a)

Elde edilen sonuçlara göre GA'da MAWA ve MAWA_O1 global optimum sonuca en yakın sonuca ulaşırken TLBO'da ise MAWA_O4, MAWA_O1 ve MAWA yaklaşımları global optimum sonuca en yakın değerlere ulaşmıştır. Ancak GA maliyeti arttırarak global optimum sonuçtan daha düşük zamanlı sonuca ulaşmıştır. Öte yandan TLBO global sonuca çok yakın maliyete ait sonuca ulaşırken bu sonuçlardaki proje tamamlanma süresi global optimum sonuçtakinden biraz daha yüksektir. Ek olarak yukarıdaki projelerde olduğu gibi MAWA_O4 yaklaşımı TLBO ile, GA'dan çok daha iyi performans göstermektedir. MAWA_O2 yaklaşımı proje optimizasyonunda de her iki algoritma ile kötü performans sergilemiştir.

Son olarak dolaylı maliyetin 3500\$/gün olarak dikkate alındığı ikinci duruma (630b) ait GA-TLBO performans karşılaştırması Tablo 52'de ve grafiği Şekil 48de verilmiştir.

Tablo 52. 630 aktiviteli proje için GA-TLBO performans karşılaştırması (630b)

	GA		TLBO	
	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)	Zaman (Gün)	Maliyet (\$)
MAWA	5848	63.950.310	6340	61.996.220
MAWA_O1	5803	63.981.025	6296	61.927.610
MAWA_O2	5486	66.490.490	5189	67.369.985
MAWA_O3	6082	62.624.470	6495	62.366.450
MAWA_O4	5636	65.326.180	6176	62.038.640
Global Sonuç	6210 Gün		61.761.700 \$	



Şekil 48. 630 aktiviteli proje için GA ve TLBO ile elde edilen sonuçlar (630b)

Global optimum sonuca en yakın sonuca MAWA_O4 ile TLBO ulaşmıştır. GA zaman ağırlıklı optimizasyon yaparak maliyetin artmasına izin vermiştir. Bu da sonuçların kötüleşmesine neden olmaktadır. TLBO'nun diğer iki sonucu da (MAWA ve MAWA_O1) biraz daha fazla zaman ile global optimum sonuçtaki maliyet değerine yakın değerlere ulaşmışlardır. Yine yukarıdaki bir çok projede olduğu gibi MAWA_O2 her iki algoritmada kötü optimizasyon performansı göstermiştir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapı projelerinde inşaat süresinin bitirilme zamanı ve maliyeti önemli bir problemdir. Proje sahibi veya yükleniciler yapım işlerini gerçekleştirirken daha az miktarlarda kaynak kullanmak istemektedirler. Genellikle birbirine zıt yönde hareket eden bu iki değişkenin en aza indirilmeye çalışılması çok amaçlı zaman maliyet ödünleşim problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu problemin çözümü için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ise yapılan bu çalışmaları geliştirerek onlara alternatif olacak yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Problem ile ilgili araştırma 7, 14, 18, 63 ve 630 aktiviteli projelerin çözümü ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ilk olarak iki değişkenin tek değişkene indirgenmesini sağlayan Zheng vd. (2005) tarafından geliştirilen Değiştirilmiş Uyarlanabilir Ağırlık Yaklaşımına (MAWA'ya) alternatif dört adet yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımı geliştirilmiştir. Ardından geliştirilen bu yaklaşımların performanslarının incelenmesi ve MAWA performansı ile karşılaştırılması amacıyla GA ve TLBO algoritmaları ile optimizasyon sürecinden geçirilmişlerdir.

Yapılan çalışma sonucunda düşük aktiviteli projelerde sadece MAWA_O3 çok başarılı sonuçlara ulaşamamıştır. Öte yandan aktivite sayısının artması ile MAWA_O3'ün optimizasyon performansı artarken MAWA_O2'nin performansı düşmektedir. Bu durum düşük aktiviteli projelerde zamanın daha önemli olarak görülmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Dolayısıyla MAWA_O2 fonksiyonu içinde zaman optimizasyonu daha ağırlık kazanırken, MAWA_O3 optimizasyonu için maliyet optimizasyonu daha ağırlıklı olmaktadır. Ayrıca MAWA_O4 yüksek aktiviteli projelerde TLBO ile iyi performans gösterirken GA ile düşük performans göstermektedir.

Çalışmada önerilen yaklaşımlar içerisinde proje bitirilme zamanının çok daha önemli olması durumunda MAWA_O2'nin kullanılması, maliyetin önemli olması durumunda MAWA_O3'ün kullanılmasının uygun olacağı söylenebilir.

Ek olarak GA ve TLBO yöntemlerinin alternatif MAWA fonksiyonları ile optimizasyon performansları da incelenmiştir. Buna göre TLBO düşük aktiviteli projelerde GA'ya göre daha

çok zaman öncelikli optimizasyon yapmaktadır. 18 aktiviteden daha yüksek aktiviteli projelerde ise TLBO'nun GA'ya göre daha çok maliyet ağırlıklı çalıştığı görülmektedir.

Çalışmada önerilen yaklaşımların düşük aktiviteli projelerde hem GA hem de TLBO ile optimizasyon performansları, literatürdeki diğer çalışmalarla benzer performans göstermektedirler. Yüksek aktiviteli projelerde ise genel olarak MAWA ile yapılan diğer çalışmaların sonuçlarından daha iyi sonuçlara ulaşılabilmektedir.

Sonuç olarak önerilen yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarının MAWA'ya alternatif olarak kullanılabilecekleri söylenebilir. Ayrıca her iki algoritma ile performansları genel olarak değerlendirildiğinde, TLBO algoritması ile daha başarılı optimizasyon gerçekleştirildiği söylenebilir.

Yapılan bu çalışma ilgili alana yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarının sunulması ile TLBO ve GA optimizasyonu karşılaştırması konusunda katkı sunmaktadır.

Geliştirilen yaklaşımların yüksek aktiviteli projelerde iyi performans gösterememesi araştırmamızın kısıtı olmaktadır.

Son olarak gelecek çalışmalarda yeni değiştirilmiş uyarlanabilir ağırlık yaklaşımlarının başka algoritmalar ile zaman maliyet ödünleşim problemlerinin çözümünde veya başka alanlardaki çok kriterli optimizasyon yöntemlerinde kullanılarak performansları incelenebilir.

Ayrıca geliştirilen yaklaşımlar, bulanık mantık (fuzzy) yöntemi veya yerel optimizasyondan kaçınmada daha etkili olan hibrit algoritmalar kullanılarak daha verimli hale getirilebilir. Ek olarak yaklaşım microsoft project arayüzü ile daha geniş kullanıma sunulabilir.

4. KAYNAKLAR

1. Abbasnia, R, Afshar, A. ve Eshtehardian, E, Time Cost Trade Off Problem in Construction Project Management Based on Fuzzy Logic, Journal of Applied Sciences, 8, 22 (2008) 4159-4165.
2. Afshar A. ve Dolabi, H.R. Z., Multi-Objective Optimization Of Time-Cost-Safety Using Genetic Algorithm, International Journal Of Optimization In Civil Engineering, 4,4 (2014) 433-450.
3. Afshar, A., Ziaraty, A. K., Kavah, A. ve Sharifi, F., Nondominated Archiving Multicolony Ant Algorithm in Time-Cost Trade-Off Optimization, Journal of Construction Engineering and Management, 135, 7 (2009) 668-674.
4. Akyol, S. ve Alataş, B., Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları, Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 1 (2012) 36-50.
5. Albayrak, G. Ve Özdemir, İ., Yapı Projelerinin Süre-Maliyet Optimizasyonunda Metasezgisel Algoritma Kullanımı, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5 (2016) 39-49.
6. Altay, A. Genetik Algoritma ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
7. Al-Zarrad, M., A. ve Fonseca D., A New Model to Improve Project Time-Cost Trade-Off in Uncertain Environments, Contemporary Issues and Research in Operations Management, 2018, 95-112.
8. Armaghani, Y., Time–Cost–Quality Trade-Off Problems Using Evolutionary Algorithms, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
9. Azeez, M. N. ve Alsaffar, A., Construction Time-Cost Optimization Modeling Using Ant Colony Optimization, Journal of Engineering, 20, 1 (2014) 114-131.
10. Bassuony, M. M. E., Time-Cost-Quality Trade-off Analysis for Construction Projects, Yüksek Lisans Tezi, The American University, Cairo, 2016.
11. Biethahn, J. ve Nissen, V., Evolutionary Algorithms in Management Applicatipns, Springer-Verlag, Berlin, 1995.
12. Biswas, S. K., Karmakera, C.L. ve Biswas, T. K., Time-Cost Trade-Off Analysis in a Construction Project Problem: Case Study, International Journal of Computational Engineering Research (IJCER), 6, 10 (2016) 32-38.

13. Canayaz, M., Cırcır Böceği Algoritması: Yeni Bir Meta-Sezgisel Yaklaşım ve Uygulamaları, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2015.
14. Carson, C., Oakander, P., ve Relyea, C., CPM Scheduling for Construction-Best Practices and Guidelines, Project Management Institute, ISBN: 978-1-62825-037-4, Pennsylvania, USA, 2014.
15. Dağ, S., Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2012.
16. Dede, T., Decision-Making Process Techniques Used in the Optimization of Construction Projects, Engineering Sciences, NWSAENS, 13, 2 (2018) 128-136.
17. Degirmenci, G., The Budget Constrained Discrete Time-Cost Trade-Off Problem in Project Networks, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
18. Desale, S., Rasool, A., Andhale, S. ve Rane, P., Heuristic and Meta-Heuristic Algorithms and Their Relevance to the Real World: A Survey, International Journal of Computer Engineering in Research Trends, 2, 5 (2015) 296-304.
19. Eirgash, M. A. ve Dede, T., A Multi-Objective Improved Teaching Learning Based Optimization Algorithm for Time-Cost Trade-Off Problems, Journal of Construction Engineering, Management & Innovation, 1, 3 (2018) 118-128.
20. Eirgash, M. A., Pareto-Front Performance of Multiobjective Teaching Learning Based Optimization Algorithm on Time-Cost Trade off Optimization Problem, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2018.
21. Eshtehardian, E, Afshar, A ve Abbasnia, R., Fuzzy-based MOGA approach to stochastic time-cost trade-off problem, Automation in Construction, 18 (2009) 692-701.
22. Feng, B. C. W., Liv, L. Ve Burns A., Using Genetic Algorithms to Solve Construction Time-Cost Trade-Off Problems, Journal of Computing in Civil Engineering, 11, 3 (1997) 184-189.
23. Feng, C. W., Liu, L. ve Burns, S. A., Stochastic Construction Time-Cost Trade-Off Analysis, Journal of Computing in Civil Engineering, 14, 2, 2000, 117-126.
24. Gen, M ve Cheng, R., Genetic Algorithms and Engineering Optimization, John Wiley & Sons Inc., Canada, 2000.
25. Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, Addison-Wesley Publishing Company, Alabama, 1989.

26. Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, United States of America, 1992.
27. Kandil, A. ve El-Rayes, K, *Parallel Computing Framework for Optimizing Construction Planning in Large-Scale Projects*, Journal of Computing in Civil Engineering, 19, 3 (2005) 304-312.
28. Karahan, M. ve Ezin, Y., *PERT-CPM Tekniğiyle Bir İnşaatın Yapım Süresi ve Maliyetlerinin Optimizasyonu*, Bartın Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 5, 10 (2014) 73-89.
29. Koo, C., Hong, T. ve Kim S, *An Integrated Multi-Objective Optimization Model For Solving The Construction Time-Cost Trade-Of Problem*, Journal of Civil Engineering and Management, 21,3 (2015) 323–333.
30. Kuang, Y. ve Xiong, Y., *Construction Time-Cost Trade-Off Analysis Using Ant Colony Optimization Algorithm*, Kuang Y.P. and Xiong Y., *International Conference on Management Science and Engineering, ICMSE '06, 2006, 2039-2044.*
31. Li H. ve Wang, Z., *Memetic Algorithm for Solving Construction Time Cost Optimization*, *Proc. of the International Conference on Management and Service Science, MASS, 2009, China, 1-4.*
32. Liu, L., Burns, S. A. ve Feng, C. W., *Construction Time-Cost Trade-Off Analysis Using LP/IP Hybrid Method*, Journal of Construction Engineering and Management, 121, 4 (1995) 446-454.
33. Magalhães-Mendes, J., *Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization*, New Developments in Pure and Applied Mathematics, ISBN: 978-1-61804-287-3 (2015) 88-95.
34. Maturana, F., Gu, P., Naumamq, A. ve Norrie, D. H., *Object-Oriented Job-Shop Scheduling Using Genetic Algorithms*, Computers in Industry, 32 (1997) 281-294.
35. Michalewicz, Z. ve Janikow, C. Z., *Genetic algorithms for numerical optimization*, Statistics and Computing (1991) 75-91.
36. Mubarak, S. *Construction Project Scheduling and Control*, 3. Baskı, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015.
37. Murty, K. G., *Optimization Models For Decision Making: Volume 1*, Dept. Industrial & Operations Engineering University of Michigan, USA, 2003

38. Ng, S. T. ve Zhang, Y., Optimizing Construction Time and Cost Using An Ant Colony Optimization Approach, Journal of Construction Engineering and Management, 134, 9 (2008) 721-728.
39. Onar, S., Ç., Öztayşi, B., Kahraman, C., Yanık, S., ve Senvar, Ö. A Literature Survey on Metaheuristics in Production Systems, chapter 1, Metaheuristics for Production Systems, Ed: Talbi, E., G., Yalaoui, F. and Amodeo, L., Operations Research/Computer Science Interfaces Series, Springer Cham Heidelberg, London, 2016.
40. Parveen, S. ve Saha, S. K., GA Based Multi-Objective Time-Cost Optimization in a Project with Resources Consideration, International Journal of Modern Engineering Research, IJMER, 2, 6 (2012) 4352-4359.
41. Portmann N.C. ve Vignier, A., Genetic Algorithms and Scheduling, Chapter 4, Production Scheduling, Ed. Lopez, P. ve Roubellat, F., ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc., London, USA, 2008.
42. Pour, N. S., Modarres, M. ve Tavakkoli-Moghaddam, R., Time-Cost-Quality Trade-Off in Project Scheduling with Linguistic Variables, World Applied Sciences Journal, 18, 3 (2012) 404-413.
43. Prašćević, N. ve Prašćević, Z., Application of particle swarms for project time-cost optimization, Građevinar 66, 12 (2014) 1097-1107.
44. Qing, A., Differential Evolution, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd., Singapore, 2009.
45. Rao, R. V. ve Kalyankar, V. D., Parameter Optimization of Machining Processes Using a New Optimization Algorithm, Materials and Manufacturing Processes, 27 (2012) 978–985.
46. Rao, R. V. ve Patel, V., An Elitist Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm For Solving Complex Constrained Optimization Problems, International Journal of Industrial Engineering Computations, 3 (2012) 535–560.
47. Rao, R. V. ve Patel, V., An improved teaching-learning-based optimization algorithm for solving unconstrained optimization problems, Scientia Iranica, Transactions D: Computer Science & Engineering and Electrical Engineering, 20, 3 (2013) 710–720.
48. Rao, R. V., Savsani, V. J. ve Balic, J., Teaching–Learning-Based Optimization Algorithm For Unconstrained And Constrained Real-Parameter Optimization Problems, Journal of Engineering Optimization, 44,12 (2012b) 1447-1462.
49. Rao, R. V., Savsani, V. J. ve Vakharia, D. P., Teaching–Learning-Based Optimization: An Optimization Method For Continuous Non-Linear Large Scale Problems, Information Sciences, 183 (2012a) 1-15.

50. Rao, R. V., Savsani, V. J. ve Vakharia, D. P., Teaching–Learning-Based Optimization: A Novel Method for Constrained Mechanical Design Optimization Problems, Computer-Aided Design, 43 (2011) 303–315.
51. Rao, S. S., Engineering Optimization Theory and Practice, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2009.
52. Ruiz, R. ve Maroto, C., A Comprehensive Review and Evaluation of Permutation Flowshop Heuristics, European Journal of Operational Research, 165 (2005) 479-494.
53. Siemens. N., A Simple Cpm Time-Cost Trade off Algorithm, Management Science, 17, 6 (1971) 354-363.
54. Singh, S. Dubey, G. C. ve Shrivastava, R., Optimization of Multi-objective Time-cost Trade off Problem with Various Risk Zones, International Journal of Theoretical and Applied Sciences, 4, 1 (2012) 60-67.
55. Sönmez, R. ve Bettemir, H., A Hybrid Genetic Algorithm For The Discrete Time-Cost Trade-Off Problem, Expert Systems with Applications, 39 (2012) 11428–11434.
56. Talbi, E. G. ve Amodeo, F. Y. L., Metaheuristics for Production Systems, Springer International Publishing, Switzerland, 2016.
57. Toğan, V. ve Eirgash, M. A., Time-Cost Trade-off Optimization of Construction Projects using Teaching Learning Based Optimization, KSCE Journal of Civil Engineering, 23,1 (2019) 10-20.
58. Toğan, V. ve Eirgash, M. A., Time-Cost Trade-Off Optimization with a New Initial Population Approach, Teknik Dergi (2019b) 1-20.
59. Xiong, Y. ve Kuang, Y., Applying an Ant Colony Optimization Algorithm-Based Multiobjective Approach for Time–Cost Trade-Off, Journal of Construction Engineering and Management, 134, 2 (2008) 153–156.
60. Yang, X. S., Gandomi, A. H., Talatahari, S. ve Alavi, A. H., Metaheuristics in Water, Geotechnical and Transport Engineering, Elsevier Publications, London, 2013.
61. Yücel, T. ve Bettemir, Ö. H., Zaman Maliyet Ödünleşim Probleminin Hesap Cetveli Uygulaması İle Optimum Çözümü, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, 06 - 07 Ekim 2017, Samsun, 423-435.
62. Zhang, Y. ve Ng, S. T., An Ant Colony System Based Decision Support System for Construction Time-Cost Optimization, Journal of Civil Engineering and Management, 18, 4 (2012) 580-589.

63. Zheng, D. X. M., Ng, S. T. ve Kumaraswamy, M. M., Applying a Genetic Algorithm Techniques For Time-Cost Optimization. In: Greenwood, D (Ed.), 18th Annual ARCOM Conference, 2, 2002, 2-4.
64. Zheng, D. X. M., Ng, S. T. ve Kumaraswamy, M. M., Applying a Genetic Algorithm-Based Multiobjective Approach for Time-Cost Optimization, Journal Of Construction Engineering and Management, ASCE, 130 (2004) 168-176.
65. Zheng, D. X. M., Ng, T. ve Kumaraswamy, M., Applying Pareto Ranking and Niche Formation to Genetic Algorithm-Based Multiobjective Time-Cost Optimization, Journal of Construction Engineering and Management, 131, 1 (2005) 81-91.
66. Zheng, H., Wang, L. ve Zheng, X., Teaching–Learning-Based Optimization Algorithm For Multi-Skill Resource Constrained Project Scheduling Problem, Soft Comput, 21 (2017) 1537–1548.

ÖZGEÇMİŞ

Neslihan BERBEROĞLU, 1983 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Ankara'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2005 yılında bitirdi. Mezuniyetinden sonra özel sektöre ait firmalarda İnşaat Mühendisi olarak görev aldı. 2017 yılında Artvin Çoruh Üniversitesi Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak atandı. Halen bu birimde görevine devam etmektedir.