



**KAYNAK PAYLAŞIMLI KAYNAK KISITLI MONTAJ HATTI
DENGELEME PROBLEMİ İÇİN BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI**

İsmet SÖYLEMEZ

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2020

İsmet SÖYLEMEZ tarafından hazırlanan “KAYNAK PAYLAŞIMLI KAYNAK KISITLI MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ İÇİN BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Uğur ÖZCAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Serpil EROL

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN

Yöneylem Araştırması Ana Bilim Dalı, Erciyes Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 03/02/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İsmet SÖYLEMEZ

03/02/2020

KAYNAK PAYLAŞIMLI KAYNAK KISITLI MONTAJ HATTI Dengeleme
PROBLEMİ İÇİN BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

(Doktora Tezi)

İsmet SÖYLEMEZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2020

ÖZET

Bu çalışmada, kaynak paylaşımına izin veren kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır. Literatürde kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi için az sayıda çalışma mevcuttur. Fakat istasyonlar arası kaynak paylaşımına izin veren şimdiye kadar herhangi bir çalışma ele alınmamıştır. Bu çalışmada kaynak paylaşımına izin veren kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Dikkate alınan problem, düz, tek modelli, kaynak kısıtlı, istasyonlar arası kaynak paylaşım, montaj hattı dengeleme problemidir. Matematiksel model ile kaynak paylaşımına izin veren ve vermeyen genel kaynak atama durumu için sonuçlar elde edilmiştir. Orta ve büyük boyutlu problemlerde matematiksel model kabul edilebilir sürelerde sonuca ulaşamadığı için meta-sezgisel yöntemlerden Tavlama Benzetimi algoritması uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen matematiksel modelin küçük boyutlu problemlerde ve önerilen tavlama benzetimi algoritmasının da orta ve büyük boyutlu problemlerde etkin olduğunu göstermektedir.

Bilim Kodu : 90617

Anahtar Kelimeler : Kaynak paylaşımı, Matematiksel model, Montaj hattı dengeleme, Tavlama benzetimi

Sayfa Adedi : 124

Danışman : Doç. Dr. Uğur ÖZCAN

A SOLUTION APPROACH FOR RESOURCE CONSTRAINT ASSEMBLY LINE
BALANCING PROBLEM WITH RESOURCE SHARING

(Ph. D. Thesis)

İsmet SÖYLEMEZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2020

ABSTRACT

In this study, resource constrained assembly line balancing problem with resource sharing is handled. There are limited studies in the literature for the problem of resource constraint assembly line balancing problem. However, there is no study that allows resource sharing between stations so far. In this study, a mathematical model has been developed for the resource constrained assembly line balancing problem that allows resource sharing at consecutive stations. The problem to be considered is a straight line, single model, resource constrained, assembly line balancing with resource sharing between stations. Results were obtained for the general resource assignment case and resource sharing case with the mathematical model. Since the mathematical model does not reach the results in acceptable time in medium and large sized problems, the Simulated Annealing algorithm which is one of the meta-heuristic methods is applied. The obtained results show that the mathematical model is effective in the small-sized and the proposed heuristic algorithm is effective in the medium and large-sized problems.

Science Code : 90617

Key Words : Assembly line balancing, Mathematical modelling, Resource sharing, Simulated annealing

Page Number : 124

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Uğur ÖZCAN

TEŞEKKÜR

Bu zorlu ve uzun süreçte bana her zaman yol gösteren ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Uğur ÖZCAN'a öncelikle teşekkürü bir borç bilirim. Tez izleme komitesi üyeleri Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN ve Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN'a, beraber mesai harcadığım tüm asistan arkadaşlarıma, değerli hocalarıma ve özellikle değerli dostum Murat ŞAHİN'e çok teşekkür ederim. Doktora tez çalışmalarımda almış olduğum burs sebebiyle TÜBİTAK-BİDEB 2211 Doktora Burs Programına teşekkürlerimi sunarım. İsmi zikretmediğim ama emeği ve desteği olan herkese ve özellikle bu zor ve stresli dönemde desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme, eşim ve çocuklarıma çok teşekkür ederim. Bir akademisyenin çocukları da tez yazar.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi	7
2.1. MHD Problemi Temel Kavramlar.....	7
2.2. MHD Problemi Sınıflandırması.....	8
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	15
3.1. MHD Problemi için Yapılmış Olan Derleme Çalışmaları.....	15
3.2. KMHD Problemi için Yapılmış Olan Çalışmalar	17
3.3. MHD Problemi için Kullanılan Bazı Çözüm Yöntemleri.....	22
4. KAYNAK PAYLAŞIMLI KAYNAK KISITLI MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi (KPMHD).....	25
4.1. Problem Tanımı	25
4.2. Açıklamalı Örnek	26
4.3. Matematiksel Model.....	31
4.4. Alt Sınır Hesabı	36
5. ÖNERİLEN TAVLAMA BENZETİMİ ALGORİTMASI.....	41
5.1. Önerilen Algoritma.....	41

	Sayfa
5.2. Parametre Optimizasyonu	55
6. SAYISAL SONUÇLAR	57
6.1. Matematiksel Model Sonuçları.....	62
6.2. Önerilen TB Sonuçları.....	69
6.3. İstatistiksel Analiz.....	79
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	83
KAYNAKLAR	85
EKLER.....	93
EK-1. Problem seti-1	94
EK-2. Problem seti-2	103
EK-3. Duncan testi sonuçları	112
EK-4. Problem seti-1 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar	116
EK-5. Problem seti-2 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar	120
ÖZGEÇMİŞ	124

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. KMHD problemi.....	20
Çizelge 4.1. Örnek problem için birerleme yolu ile elde edilen sonuçlar.....	31
Çizelge 4.2. Örnek problem verisi	38
Çizelge 5.1. Tavlama süreci ve en iyileme probleminin özellikleri.....	42
Çizelge 5.2. Başlangıç çözümü için örnek problem verileri	55
Çizelge 5.3. Parametre optimizasyonu için kullanılan değerler.....	55
Çizelge 5.4. Parametre optimizasyonu için kullanılan test problem değerleri.....	55
Çizelge 6.1. Kullanılan test problemlerinin yapısı.....	58
Çizelge 6.2. Problem seti-1 matematiksel model sonuçları	63
Çizelge 6.3. Problem seti-2 matematiksel model sonuçları	66
Çizelge 6.4. Problem seti-1 önerilen TB ve matematiksel model sonuçları	70
Çizelge 6.5. Problem seti-2 önerilen TB ve matematiksel model sonuçları	72
Çizelge 6.6. Problem seti-1 önerilen TB yüzde değişim değerleri	75
Çizelge 6.7. Problem seti-2 önerilen TB yüzde değişim değerleri	77
Çizelge 6.8. Alt sınırdan yüzde sapmalar	78

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. MHD problemlerinin sınıflandırılması	8
Şekil 2.2. Ürün tipine göre MHD problemleri	9
Şekil 2.3. Yerleşim tipine göre MHD problemleri	10
Şekil 2.4. İstasyonda çalışan operatör sayısına göre MHD problemleri.....	11
Şekil 2.5. İşlem yapılan tarafa göre MHD problemleri	12
Şekil 2.6. Kaynak paylaşım durumuna göre MHD problemleri	13
Şekil 2.7. Dikkate alınan problem özellikleri	14
Şekil 4.1. Öncelik ilişkileri, görev zamanları ve gerekli kaynak ihtiyaçları.....	27
Şekil 4.2. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum 1’inci alternatif.....	28
Şekil 4.3. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum 2’inci alternatif.....	28
Şekil 4.4. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum 3’inci alternatif.....	29
Şekil 4.5. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum 4’inci alternatif.....	29
Şekil 4.6. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum 5’inci alternatif.....	30
Şekil 4.7. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum için elde edilen çözüm.....	30
Şekil 5.1. Önerilen TB pseudo kodu.....	42
Şekil 5.2. Önerilen TB akış şeması.....	44
Şekil 5.3. Yer değiştirme komşuluk mekanizması.....	45
Şekil 5.4. Yerleştirme komşuluk mekanizması.....	45
Şekil 5.5. Önerilen çözüm kurucu sezgisel pseudo kodu.....	45
Şekil 5.6. Örnek problem için çözüm adımları	51
Şekil 6.1. Matematiksel model ve TB en iyi görev atama ve çizelgesi.....	59
Şekil 6.2. Matematiksel model en iyi kaynak atama ve çizelgesi.....	60
Şekil 6.3. Önerilen TB en iyi kaynak atama ve çizelgesi	61

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. Kaynak paylaşımlı matematiksel model ile elde edilen kaynak sayısı iyileşmeleri	68
Şekil 6.5. Genel kaynak ve kaynak paylaşım durumu eşlenik-T testi sonuçları.....	80
Şekil 6.6. Önerilen TB ve kaynak paylaşım durumu eşlenik-T testi sonuçları.....	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

AS_{ist}	İstasyon sayısı için elde edilen alt sınır miktarı
AS_{kyn}	Kaynak sayısı için elde edilen alt sınır miktarı
$AS_{amaç}$	Amaç fonksiyonu için elde edilen alt sınır miktarı
b	Durum
B	Durum kümesi
C	Çevrim süresi
i, h	Görev
I	Görev kümesi
j	İstasyon
J	İstasyon kümesi
m	İstasyon sayısı
n	Görev sayısı
P_i	i görevinin hemen öncül kümesi
R	Kaynak kümesi
T_i	i görevinin işlem zamanı
α	Soğutma katsayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

AS	Ataması sırası
AKK	Atanabilir kaynak kümesi
GKS	Gerekli kaynak sayısı
FT	Bitiş zamanı
MAK	Mevcut atanan kaynak kümesi
MHD	Montaj hattı dengeleme

Kısaltmalar**Açıklamalar****KPMHD**

Kaynak paylaşımli kaynak kısıtlı montaj hattı
dengeleme problemi

ST

Başlangıç zamanı

TB

Tavlama benzetimi

 Θ

Atanabilir görevler kümesi

1. GİRİŞ

Üretim sistemi hammadde, sermaye, yönetim ve işçilik gibi girdileri ürün veya hizmete dönüştüren ve gerektiği zamanlarda geri besleme ile kendini yenileyen yapının tamamı olarak tanımlanabilir. Üretim yönetimi de işletmenin elinde bulunan malzeme, makine ve insan gibi kaynakları istenilen miktarlarda, belirlenen kalitede, istenilen zamanda ve düşük maliyet ile üretiminin sağlanmasıdır (Acar, 1989). Üretim sistemlerinin tasarımı, planlanması ve kontrolü için bazı amaçlar/hedefler söz konusudur. Bunlar toplam maliyet, risk, olumsuz çevresel etkiler, enerji, değişim gibi amaçların küçüklmesi ve kalite, verimlilik, esneklik, müşteri memnuniyeti, çalışanların iş memnuniyeti gibi amaçların ise en büyüklmesi olabilmektedir (Malakooti, 2013). İşletmelerin en temel amaçları ise sürdürülebilir bir ekonomik üretim sürecine sahip olmaktır. Bu sebeple bir işletme için en temel amaçlardan birisi toplam maliyet en küçüklmesi olarak öne çıkmaktadır (Kurtlu ve Çakır, 2019).

Geleneksel üretim sistemleri üretim miktarı veya akış tipine göre en temel anlamıyla üçe ayrılmaktadır (Saadet, 2012). Bunlar siparişe göre üretim, parti tipi üretim ve sürekli üretimdir. Siparişe göre üretimde gelen talep miktarınca üretim söz konusudur. Parti tipi üretimde belirli büyüklüklerdeki siparişleri karşılamak için benzer ya da aynı cinsten ürünler partiler halinde üretilmektedir. Bu tip sistemlerin en önemli özelliği de bir parti üretilmeden diğerine geçiş yapılmamaktadır. Bu sistemde maliyet açısından bakıldığı zaman parti tipini ve parti büyüklüğü belirlemek çok önemlidir. Sürekli üretimde ise, birkaç tip ürün çok büyük miktarlarda üretilmektedir. Bu üretim sisteminde uzmanlaşma gerekmektedir. En temel özelliği ürün akış halinde bir başka ifadeyle hareket halindedir. Üretim tesisi bu duruma göre tasarlanmıştır. Bu tip üretim sisteminde iyi dengelenmiş bir üretim hattı, hammadde ve yarı mamul ihtiyacını zamanında karşılama, hattın akışını engelleyebilecek her türlü duruma önlem alınması çok önemlidir (Saadet, 2012; Malakooti, 2013).

En temelde montaj hatları 1900'li yılların başlarında Henry Ford'un üretmiş olduğu araçlarda kullanmaya başladığı sisteme dayanmaktadır. Artan talepleri karşılayabilmek için aynı sürede daha fazla ürün üretme çabası sayesinde görevler standart hale getirilmiş ve belirli görevler belirli operatörler tarafından yapılmaya başlanmıştır. İnsanın benzer işlere alışarak daha hızlı ve sürekli olarak daha hızlı yapabilmesi kabiliyeti ile montaj hatlarının

temelleri atılmıştır. Ürünler bir akış hattında ardı sıra istasyonlarda hareket etmekte ve her bir istasyonda farklı işlemler görerek nihai ürünün üretimi gerçekleştirilmektedir. Montaj hatları sürekli/akış tipi üretim sistemlerinin en temel örneklerinden bir tanesidir.

Üretim hattının dengelenmesi, ürün akışının sürekli olması istendiği durumlarda en önemli faktördür. Çünkü akış tipi sistemlerde istasyonlar birbirlerine bağımlıdır (Acar ve Eştaş, 1991). Diğer bir ifade ile montaj hattının bir noktasında meydana gelebilecek problem takip eden istasyonlara gidecek ürünlerin gecikmesine sebep olacak hem de kendinden önceki istasyonların akışını yavaşlatacaktır. Daha çok insan gücünün etkili olduğu montaj hattı sistemlerinde bu tip aksaklıklarla karşılaşmamak için yapılan işlerde uzmanlaşma önem arz etmektedir.

Montaj hatları konveyör bandı adı verilen küçük modüler taşıma sistemlerinin birbiri ardı sıra eklenerek malzemenin ya otomatik olarak ya da elle yer değiştirilerek taşındığı sistemler olarak tanımlanabilir (Özcan, 2009). Bu taşıma sırasında montaj hatlarının üzerinde operatörler tarafından gerekli işlemler gerçekleştirilmektedir. Bazı durumlarda ürün montaj hattı üzerinden alınarak ayrı bir iş hücresinde gerekli işlemler yapıldıktan sonra montaj hattı üzerine tekrar bırakılarak bir sonraki istasyona taşınması da sağlanabilmektedir. Hammadde ve yarı mamul gibi girdiler bir istasyondan diğerine doğru hareket ederek montaj hattının sonuna doğru hareket ederler. Bir montaj hattında gerçekleştirilecek olan işlemlere görev adı verilir ve bu görevlerin tamamı belirli bir çevrim süresi içerisinde tamamlanması gerekmektedir. Görevlerin işlemleri gerçekleştirilirken öncelik ilişkileri dikkate alınır. Öncelik ilişkileri görevlerden birinin gerçekleştirilebilmesi için başka bir görevin tamamlanmasına bağlı olmasıdır. Montaj hattı dengeleme (MHD) problemi atama kısıtı (her bir görev sadece tek bir istasyona atanabilir), öncelik ilişkileri kısıtı (görevlerin istasyonlara atanırken kendinden önce tamamlanması gereken görevin atanması gereklidir) ve çevrim süresi kısıtının (bir istasyona atanan görevlerin işlem zamanları toplamı çevrim süresini aşamaz) dikkate alınarak görevlerin istasyonlara atanması olarak adlandırılabilir.

Montaj Hattı Dengeleme (MHD) problemlerinde hat tipine göre düz (Salveson, 1955), U (Miltenburg ve Wijngaard, 1994) ve paralel (Gökçen, Ağpak ve Benzer, 2006), ürün tipine göre tek (Salveson, 1955), karışık (Thomopoulos, 1970) ve çok modelli (Fokkert ve Kok, 1997), amaca göre istasyon sayısı en küçükleme (Gutjahr ve Nemhauser, 1964), çevrim süresi en küçükleme (Klein ve Scholl, 1996) , hat etkinliğinin en büyükleme (Wei ve

Chao, 2011) ve uygun bir çözümün bulunması (Scholl, 1999), görev sürelerinin deterministik (Salveson, 1955) ya da stokastik (Reeve ve Thomas, 1973) olma durumuna göre farklı sınıflandırılmalar da yapılmaktadır. Ayrıca bazı özel sınıflandırmalar söz konusudur. İstasyonda çalışan işçi sayısına göre çok işçili (Fattahi, Roshani ve Roshani, 2011), görevlerin yapılabilme tarafına göre çift taraflı (Bartholdi, 1993), görevlerin işlemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli kaynak/ekipmanın da dikkate alınmasına göre kaynak kısıtlı (Buckin ve Tzur, 2000) montaj hattı dengeleme problemleri mevcuttur.

Montaj işlemleri gerçekleştirilirken kaynak/ekipman adı verilen malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü bazı işlemleri kaynak kullanmadan gerçekleştirmek mümkün olmayacaktır. Kaynak kullanılarak bir iş parçası diğer bir iş parçasına monte edilir ve işlem tamamlanır. Buna rağmen, MHD problemlerinin birçoğunda kaynak ihtiyacı dikkate alınmamaktadır ve göz ardı edilmektedir (Bukchin ve Tzur, 2000). MHD problemi için yapılan literatür araştırması ile kaynak ihtiyacını dikkate alan sınırlı sayıda çalışma bulunduğu tespit edilmiştir.

Montaj hattında gerçekleştirilecek görevler için kullanılacak olan gerekli kaynakların yatırım maliyeti de ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple gerekli kaynak sayısının da en küçükleme gerekir. Montaj hattı dengelenirken gerekli kaynak sayısının da dikkate alınması Kaynak Kısıtlı Montaj Hattı Dengeleme Problemi (KMHD) olarak adlandırılmaktadır (Jayaswal ve Agarwal, 2014). MHD probleminde görevler istasyonlara atanırken KMHD probleminde gerekli kaynaklar da görevlere atanır. Ancak artan rekabet ortamı ile işletmeler devamlılıklarını sağlayabilmeleri için maliyetlerde iyileştirmelere gitmek zorunda kalmaktadır.

Görevler için farklı tiplerde kaynak kullanımı söz konusu olabilir. Aynı anda birden fazla kaynak kullanımın söz konusu olduğu durumlar da söz konusudur (Corominas, Ferrer ve Pastor, 2011). Literatürde ele alınan KMHD problemlerinde kullanılan kaynak sadece tek bir istasyonda kullanılmaktadır. Bu sebeple kaynakların kullanım oranları düşük seviyelerde kalabilmektedir. Daha az kaynak ihtiyacının mümkün olabileceği istasyonlar arasında kaynak paylaşım yaklaşımı ile maliyetlerde iyileştirmeler gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşım ile kaynakların kullanım yüzdeleri artırılarak daha düşük sayıda kaynak ile işlemler gerçekleştirilebilecektir. İstasyon sayısı, çevrim süresi ya da hat etkinliği gibi amaçlara ek olarak gerekli kaynak sayısının da en küçüklendiği durum söz konusu olmaktadır.

Kaynakların istasyonlar arasında ortak kullanımına izin veren kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi, Kaynak Paylaşımli Kaynak Kısıtlı Montaj Hattı Dengeleme Problemi (KPMHD) olarak adlandırılmaktadır.

Bu tezin amacı, literatürde yer alan genel kaynak kullanımı yani kaynakların sadece tek bir istasyonda kullanılabildiği durum yerine istasyonlar arasında kaynak paylaşımına izin veren yaklaşım dikkate alınarak KPMHD problemine yeni bir çözüm önerisi sunmaktır. Bu çalışmada; düz, tek modelli, tek işçili, Tip-1 ve kaynak kısıtlı, kaynak paylaşımli montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır. Bu problem için yeni bir karma tam sayılı matematiksel model geliştirilmiş ve yeni geliştirilen test problemleri için sonuçları elde edilmiştir. Ancak çoğu orta ve büyük boyutlu test problemlerinin çözümüne MHD probleminin NP-zor (Alveres ve Pereira, 2019) olması sebebiyle uygun bir çözüme ulaşmak zordur. Bu sebeple MHD problemi için literatürde sıklıkla kullanılan ve etkin sonuçların elde edildiği Tavlama Benzetimi algoritmasına başvurulmuştur. Önerilen algoritma sayesinde test problemleri için uygun sonuçlara ulaşılmıştır. Bu çalışma kaynak paylaşımına istasyonlar arası izin veren ilk çalışma olarak literatüre katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde montaj hattı dengeleme problemi ve ilgili temel kavramlar verilmektedir. Ayrıca bu bölümde ürün çeşitliliği, amaç, görev süreleri ve yerleşim planına göre sınıflandırmalar yer almaktadır.

MHD problemi için yapılmış olan literatür araştırma çalışmaları, kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi için yapılmış olan çalışmalar, çözüm yöntemi olarak tavlama benzetiminin kullanıldığı bazı MHD çalışmaları üçüncü bölümde verilmektedir.

Dördüncü bölümde KPMHD problemi hakkında bilgi verilecektir. Problem tanımı ve açıklamalı bir örnek ile problem yapısından bahsedilecektir. Açıklamalı örnek ile kaynak paylaşımli durum ile genel kaynak durumu arasındaki fark ortaya konulacaktır. Geliştirilmiş olan karma tam sayılı matematiksel model sunulmuştur. Sonuçların karşılaştırılması için değerlendirme kriteri olarak kullanılacak olan alt sınır hesabı yine bu bölümde verilmektedir. Kaynak sayısı ihtiyacı için yeni bir alt sınır verilmektedir.

Beşinci bölümde de önerilen tavlama benzetimi algoritmasından bahsedilecektir. Önerilen metasezgisel algoritmanın adımları ve akış şeması sunulmaktadır. Görev ve kaynak atama süreci bir örnek problem üzerinde adım adım gösterilmiştir.

Altıncı bölümde kaynak paylaşımlı ve genel kaynak kullanım durumu için elde edilen matematiksel model sonuçları verilmektedir. Ayrıca tavlama benzetimi algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlar matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Son bölümde sonuç ve değerlendirme yer almaktadır.

2. MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ

Bu bölümde ilk olarak montaj hatları için kullanılan kavramlar verilecektir. Temel kavram tanımlamalarından sonra MHD problemi için temel sınıflandırılmaları yer almaktadır.

2.1. MHD Problemi Temel Kavramlar

Fransızca kökenli bir kelime olan montaj, bir makine, cihaz veya eşyanın parçalarını yerli yerine takma veya birleştirme olarak ifade edilir. Operatörler tarafından gerçekleştirilen montaj işlemleri montaj hattı adı verilen konveyör bandı taşıma sistemleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Konveyör bantları sayesinde ürünler üzerinde işlemler gerçekleştirilirken aynı zamanda bir sonraki istasyona doğru taşıma işlemi de gerçekleştirilmektedir.

Belirli kısıtlar altında bir veya daha fazla amaç gözetilerek görevlerin istasyonlara paylaştırılması problemine montaj hattı dengeleme problemi adı verilmektedir (Özcan, 2009). En genel anlamıyla Montaj Hattı Dengeleme Problemi (MHD), görevlerin belirli bir çevrim süresi içerisinde tamamlanacağı şekilde en uygun durumda istasyonlara atanması işlemidir. Bir montaj hattı için en temel üç kısıt söz konusudur. Söz konusu üç temel kısıt atama, öncelik ilişkileri ve çevrim süresi kısıtlarıdır.

Bir montaj hattı için kullanılan bazı temel kavramlar aşağıdaki şekildedir.

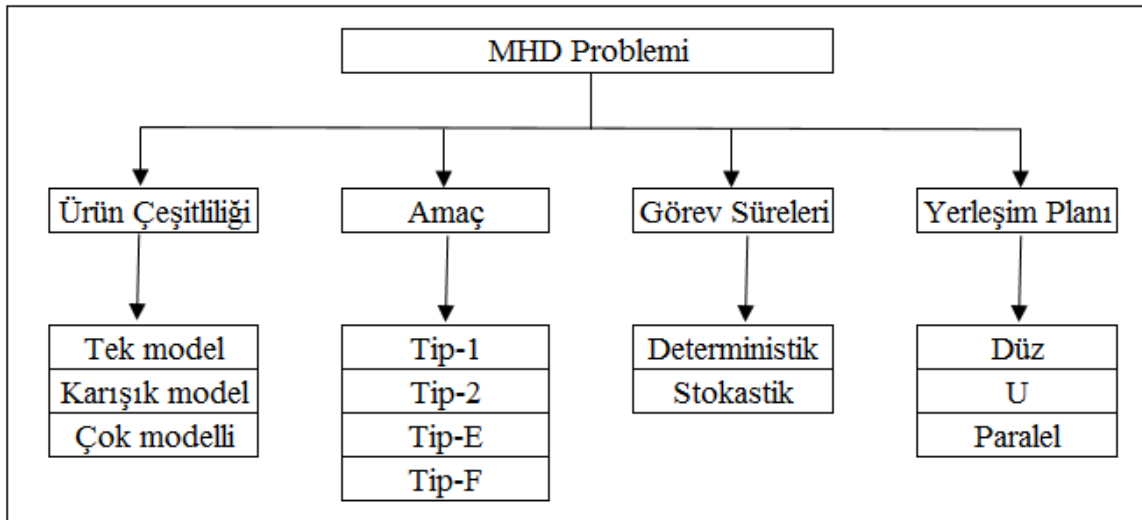
Gerçekleştirilen her bir görev aslında o ürünün tamamlanması için gerekli en küçük işlem parçalarından biri olarak adlandırılabilir. Başka bir deyişle, bir ürünün son halini alması için ürün üzerinde gerçekleştirilen değişiklikler olarak tanımlanabilir.

Montaj hatları istasyon olarak adlandırılan küçük parçalara bölünür ve her bir istasyonda belirli bir çevrim süresi içinde o istasyona atanmış olan görevler tamamlanmaya çalışılır. Çevrim süresi bir istasyonda bir ürün için gerçekleştireceği görevler için harcayabileceği en büyük süre olarak tanımlanabilir. Bir istasyona atanmış olan görevlerin işlem süresi toplamı çevrim süresini aşamaz.

MHD probleminde görevler istasyonlara atanır. Atama işlemi gerçekleştirilirken görevler arası öncelik ilişkileri dikkate alınır. Aralarında öncelik ilişkileri bulunan görevlerin atama işleminde öncül görev atanmadan diğer görevin atanmasına izin verilmemektedir. Bir başka ifadeyle, bir görev tamamlanmadan diğer bir görevin başlamasına izin verilmemektedir.

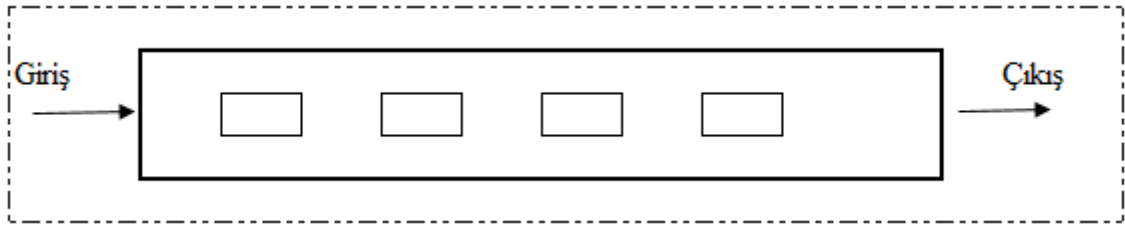
2.2. MHD Problemi Sınıflandırması

Literatürde montaj hatları farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Genel anlamda atanan ürün çeşitliliği, amaç, görev süreleri, yerleşim planı olmak üzere dört ana başlık altında bu sınıflandırmalar gruplandırılabilir (Scholl, 1999). Atanan ürün çeşitliliği, amaç, görev süreleri ve yerleşim planına göre MHD problemi sınıflandırması Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

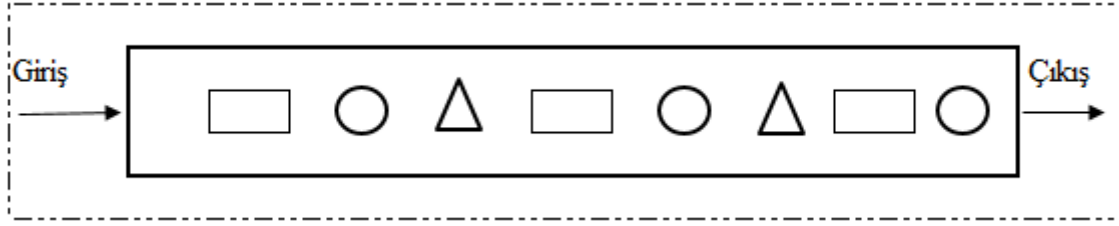


Şekil 2.1. MHD problemlerinin sınıflandırılması

Montaj hatlarına eğer tek bir çeşit ürün atanmış ise “tek modellenli” (Salveson, 1955), bir ürünün birden fazla çeşidinin olduğu ve bunların karışık olarak üretildiği durum “karışık modellenli” (Thomopoulos, 1970) ve benzer ürünlerin belirli büyüklüklerdeki partiler halinde üretildiği durum ise “çok modellenli” (Fokkert ve Kok, 1997) olarak adlandırılabilir (Scholl, 1999; Şahin, 2016). Şekil 2.2 de ürün tipine göre montaj hatları gösterilmektedir. Şekil 2.2 (a) da tek modellenli montaj hattı gösterilmektedir. Şekil 2.2 (b) de karışık modellenli montaj hattı verilmekte iken Şekil 2.2 (c) de ise çok modellenli montaj hatta örnek bir gösterim verilmektedir.



(a)



(b)



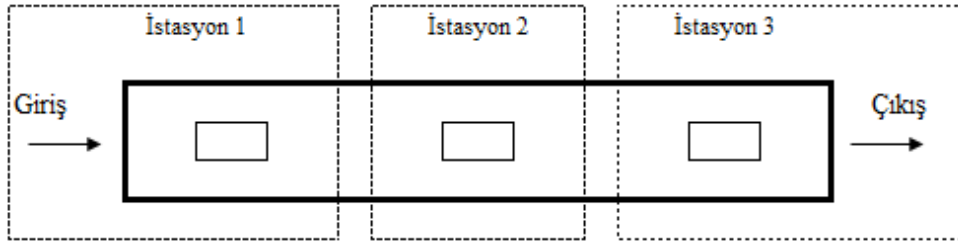
(c)

Şekil 2.2. Ürün tipine göre MHD problemleri

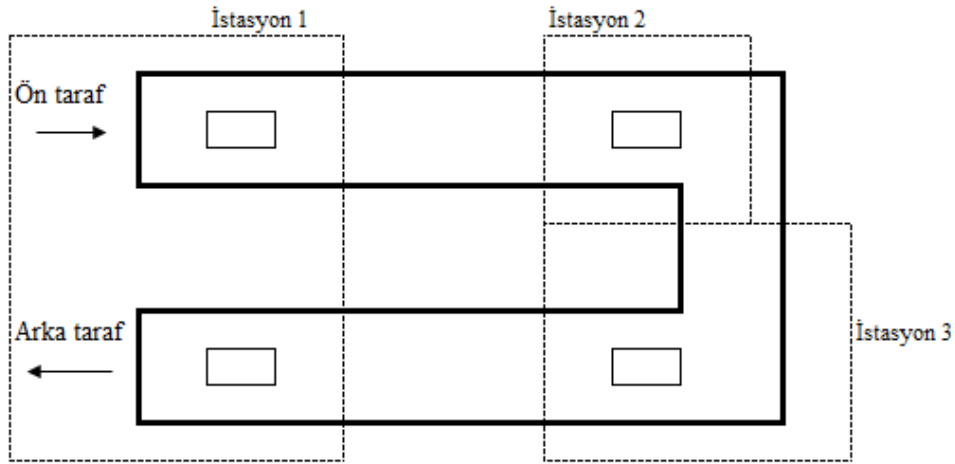
Montaj hattı dengeleme probleminde amaç; istasyon sayısı ve çevrim süresi en küçükleme, hat etkinliği en büyükleme veya uygun bir atamanın bulunması olabilmektedir. Tip-1 olarak istasyon sayısı en küçükleme başka bir ifadeyle amaç belirli bir çevrim süresi için gerekli istasyon sayısının azaltılması (Gutjahr ve Nemhauser, 1964), Tip-2’de çevrim süresi en küçükleme, belirli bir istasyon sayısında gerekli çevrim süresinin azaltılması (Klein ve Scholl, 1996), Tip-E’de hat etkinliği artırmak (Wei ve Chao, 2011) ve Tip-F’de ise uygun bir atamanın bulunması amaçlanmaktadır (Boysen, Fliedner ve Scholl, 2007).

Yerleşim planına göre montaj hatları ise düz, U-tipi ve paralel hatlar şeklinde üçe ayrılır. Tek bir hattan ve bu hattın düz olduğu durumda düz hat (Salveson, 1955), operatörlerin U şeklinde yerleşmiş montaj hattının önünde ve arkasında işlem gerçekleştirebildiği durumda U-tipi hat (Miltenburg ve Wijngaard, 1994); birden fazla montaj hattın birbirine paralel şekilde konumlandırıldığı durumda ise paralel hat (Gökçen ve diğerleri, 2006) şeklinde tanımlanmaktadır. Şekil 2.3’de yerleşim planına göre hatlar gösterilmektedir. Şekil 2.3 (a) da düz hatlar, (b) de U-tipi hatlar, (c) de ise paralel hatlar verilmektedir. Ayrıca her bir

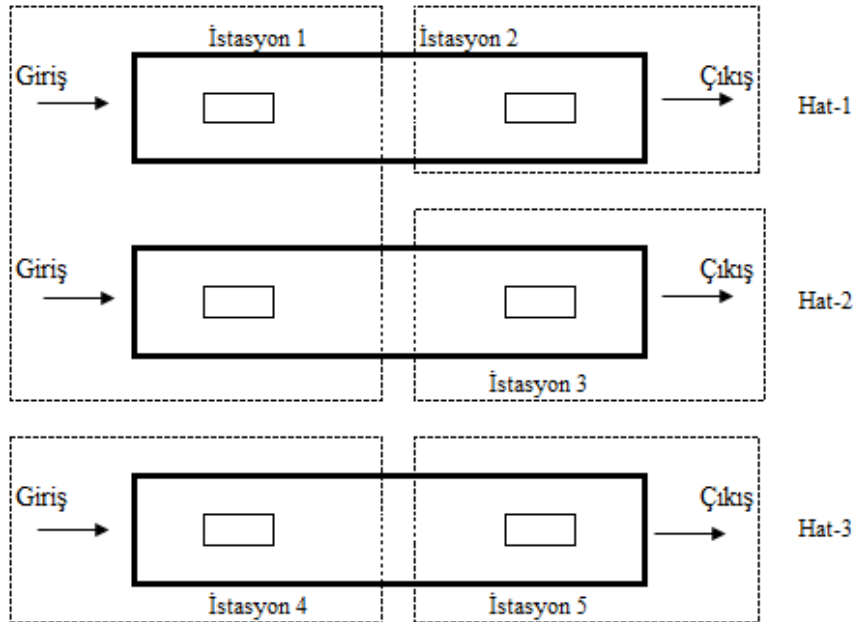
montaj hattı için örnek istasyon gösterimleri verilmektedir.



(a)



(b)



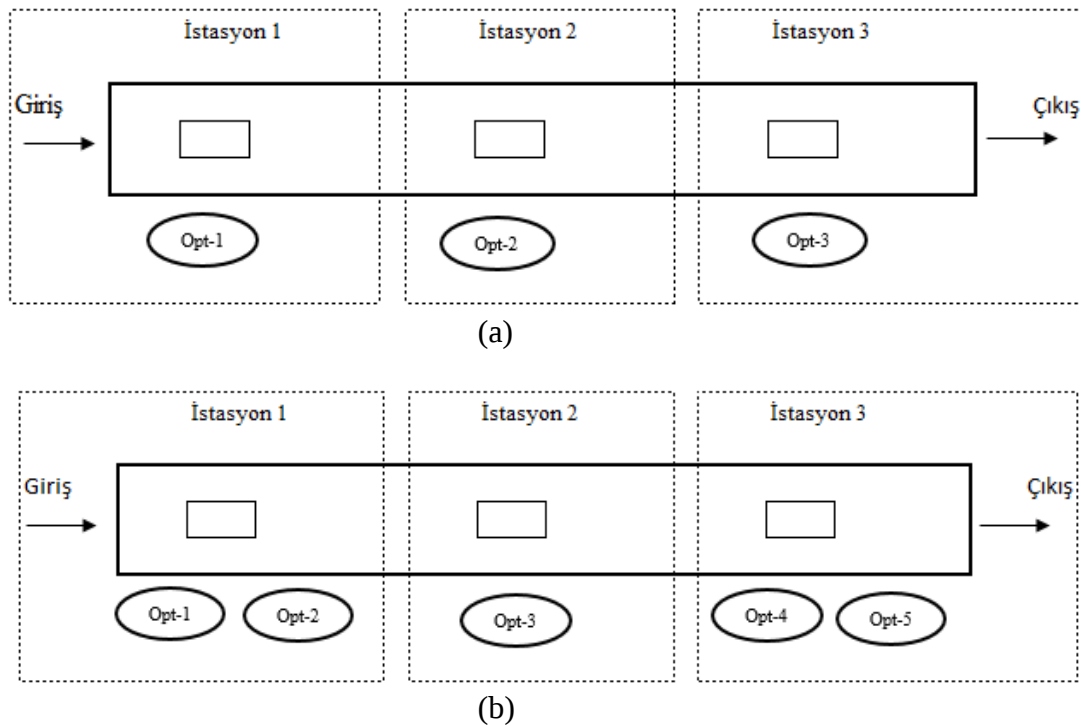
(c)

Şekil 2.3. Yerleşim tipine göre MHD problemleri

Bir montaj hattında en genel varsayımlardan bir tanesi işlem süresinin standart ve belirli olduğudur. Bu durum deterministik zamanlı hatlar olarak gruplandırılmıştır. Ancak bazı durumlarda işlem süresinin stokastik olduğu durumlar da dikkate alınmaktadır. Buna da stokastik zamanlı MHD problemi adı verilmektedir (Reeve ve Thomas, 1973).

Bu temel sınıflandırmalara ek olarak montaj hatları için bazı özel sınıflandırmalar da söz konusudur. Bazı özel sınıflandırmalar ise aşağıda verildiği gibidir.

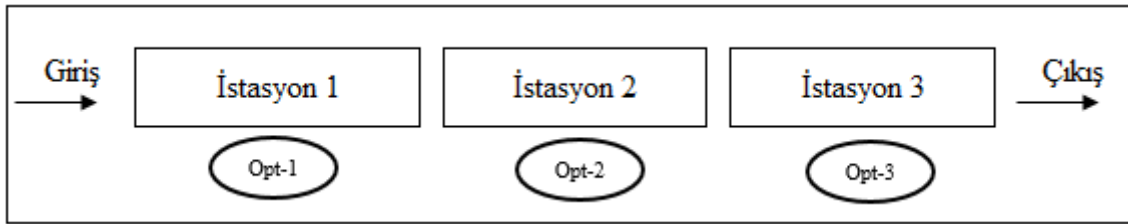
Montaj hatları her bir istasyonda çalışan operatör/işçi sayısına göre “çok işçili” montaj hattı dengeleme problemi olarak da sınıflandırılabilir. Herhangi bir istasyonda birden fazla işçi çalışıyor ise çok işçili montaj hattı olarak isimlendirilmektedir (Fattahi, Roshani ve Roshani, 2011). Şekil 2.4 (a) da bir istasyonda tek bir işçinin çalıştığı montaj hatları verilmektedir. Burada Opt-1 ile birinci istasyonda çalışan birinci operatör ifade edilmektedir. Montaj hattında üç adet istasyon ve üç adet operatör bulunmaktadır. Çok işçili montaj hatları da Şekli 2.4 (b) de gösterilmektedir. Birinci istasyona Opt-1 (operatör 1) ve Opt-2 (operatör 2) atanmıştır bir başka ifadeyle birinci ve ikinci operatörler birlikte İstasyon 1’de çalışmaktadır. İkinci istasyonda ise Operatör 3 atanmış iken son istasyonda Operatörler 4 ve 5 birlikte atanmıştır.



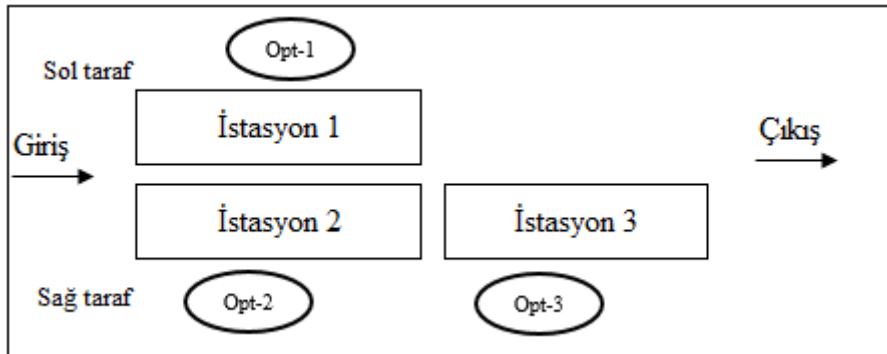
Şekil 2.4. İstasyonda çalışan operatör sayısına göre MHD problemleri

Görevlerin belirli bir sıra bağımlı hazırlık zamanına sahip olduğu montaj hatları sıra bağımlı hazırlı zamanlı montaj hattı dengeleme problemi olarak isimlendirilmektedir. Bu sınıfta bir görevin işlemi tamamlandıktan sonra diğer bir görevin işlemine geçerken bir hazırlık zamanı söz konusudur (Andres, Miralles ve Pastor, 2008).

Ayrıca görevlerin operatörler tarafından işlemi gerçekleştirilirken bir ya da birden fazla taraftan yapılıp yapılamamasına göre tek taraflı ya da çift taraflı hatlar söz konusudur. Özellikle kamyon, traktör, otomobil gibi büyük boyutlu ürünlerin montaj işlemlerinin sadece hattın tek bir tarafından yapılması mümkün olamamaktadır (Bartholdi, 1993; Özcan, 2009). Bu tür durumlarda görevlerin işlemlerinin birden fazla taraftan yapılması gerekebilmektedir. Şekil 2.5 (a)'da düz ve tek taraflı bir montaj hattı ataması söz konusu iken, Şekil 2.5 (b)'de düz çift taraflı montaj hattına örnek bir atama yer almaktadır. Çift taraflı montaj hattı için birinci istasyonda birinci operatör hattın sol tarafında çalışıyor iken ikinci istasyonda hattın sağ tarafında ikinci operatör görev almaktadır. Üçüncü istasyonda ise sadece hattın sağ tarafında işlem gerçekleştirilmektedir.



(a)

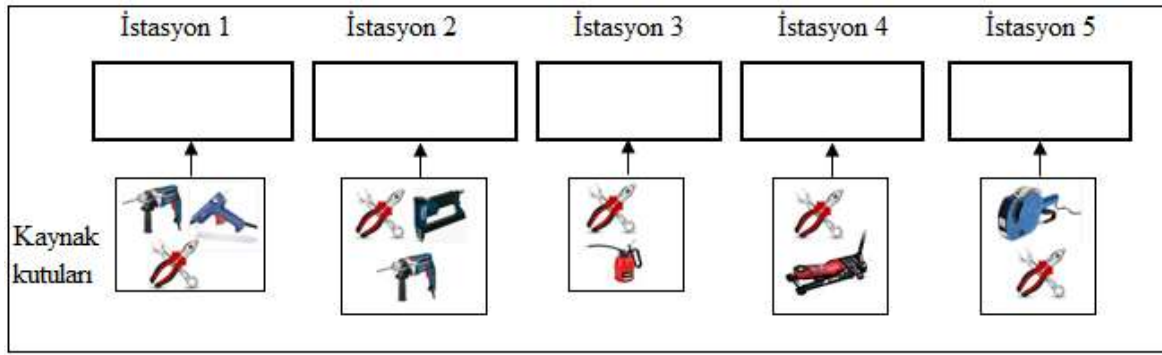


(b)

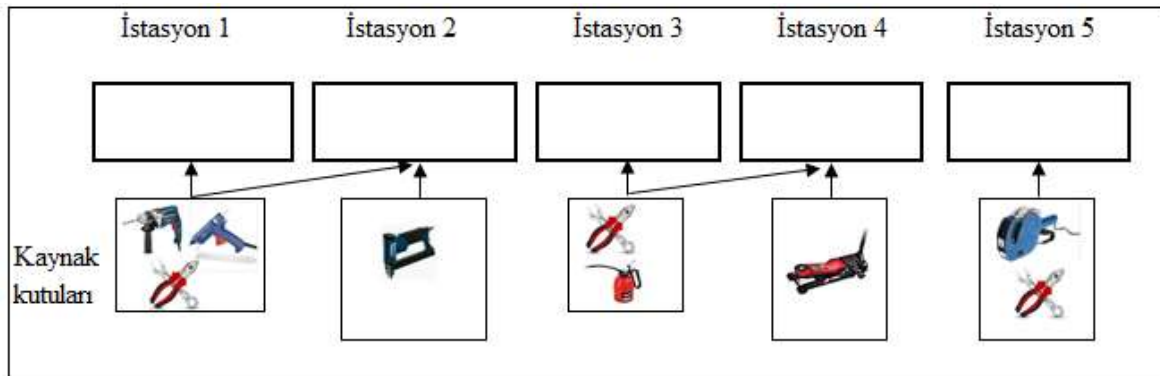
Şekil 2.5. İşlem yapılan tarafa göre MHD problemleri

Son yıllarda ele alınan çalışmalar gerçek hayata daha da fazla yaklaşmaktadır. Görevlerin işlemleri gerçekleştirilirken kullanılan teçhizata kaynak/ekipman adı verilmektedir.

Operatörler tarafından kaynaklar kullanılarak montaj işlemleri gerçekleştirilmektedir. Görevlerin işlemlerinin gerçekleştirileceği kaynakların da atanmasını dikkate alan bir başka deyişle görevlerin istasyonlara atanması ve aynı zamanda görevlerin de kaynaklara atamasının yapıldığı duruma kaynak kısıtlı montaj hatları olarak ifade edilmektedir (Buckin ve Tzur, 2000; Ağpak ve Gökçen, 2005). İstasyon ve çevrim süresi en küçükleme, hat etkinliği en büyükleme ve uygun bir çözümün bulunması gibi amaçlara ek olarak gerekli kaynak sayısının da en küçükleme durumu söz konusudur. Literatür incelendiği zaman kaynak sayısı ihtiyacını da dikkate alan çalışmalar olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmaların detaylarına üçüncü bölümde değinilecektir. Ancak, bu çalışmalarda ihtiyaç duyulan kaynak tek bir istasyona atanabilmektedir. Bu çalışma, kaynakların tek bir istasyonda değil aynı zamanda ardışık istasyonlarda kullanımına izin verilmesi durumunu ele almaktadır.



(a)

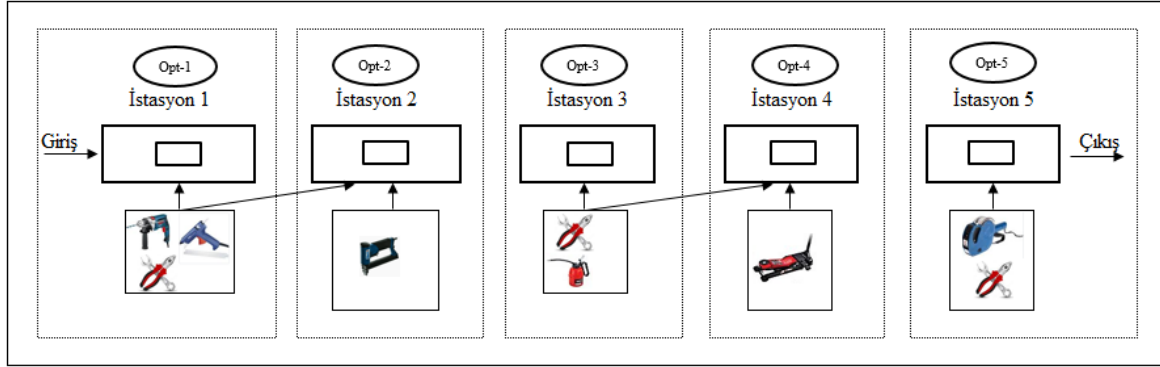


(b)

Şekil 2.6. Kaynak paylaşım durumuna göre MHD problemleri

Şekil 2.6’da kaynak kullanım durumuna göre montaj hatları verilmektedir. Şekil 2.6 (a)’da her bir istasyona özel tek bir kaynak kutusu söz konusudur. Şekil 2.6 (b)’de belirtildiği üzere kaynaklar beşinci istasyondaki gibi sadece tek bir istasyona hizmet verirken 1’inci istasyondaki bazı kaynaklar aynı zamanda ikinci istasyondaki görevlere ve üçüncü

istasyondaki bazı kaynaklarda dördüncü istasyonda yer alan görevler için de kullanılabilir. Örneğin; matkap, pense ve anahtar hem birinci hem de ikinci istasyonda kullanılıyor iken, havalı zımba makinesi sadece ikinci istasyonda kullanılmaktadır.



Şekil 2.7. Dikkate alınan problem özellikleri

Bu çalışmada ele alınan problem özellikleri Şekil 2.7’de gösterildiği şekildedir. Düz, tek bir tipte ürünün üretildiği (tek modelli), her bir istasyonda tek bir operatörün çalışabildiği (tek işçili) ve görevler için gerekli olan kaynakların atanmasının dikkate alındığı (kaynak kısıtlı) montaj hattı dengeleme problemi ele alınmaktadır. Literatürde yer alan KMHD problemlerinin özelliklerine ek olarak ardışık istasyonlar arası kaynak paylaşımına izin veren durum ele alınmaktadır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ilk olarak MHD problemi için gerçekleştirilmiş olan derleme çalışmalardan bahsedilecektir. Daha sonra KMHD problemi için gerçekleştirilmiş olan çalışmalar sunulmaktadır. Bunlara ek olarak MHD problemi için çözüm yöntemi olarak kullanılan çeşitli algoritmalarından bahsedilecektir.

3.1. MHD Problemi için Yapılmış Olan Derleme Çalışmaları

MHD problemi için gerçekleştirilmiş olan binlerce akademik çalışma söz konusudur. Bu çalışmalar belirli zamanlarda derleme çalışmaları ile ele alınarak MHD problemleri hakkında genel değerlendirmeler sunulmaktadır. Gerçekleştirilmiş olan bazı derleme çalışmaları şu şekildedir:

Baybars (1986) MHD problemi için kullanılan kesin çözüm yöntemleri hakkında bir derleme çalışması yapmıştır. Tek modellenli hatlar dikkate alınmış ve hem Tip-1 hem de Tip-2 amaçları için tam sayılı programlama ve dinamik programlama yöntemlerinin ele alındığı çalışmalar sunulmuştur.

Tek modellenli ve deterministik MHD problemi için çok fazla kesin çözüm yöntemi ve sezgisel algoritmaların uygulandığı çalışma söz konusudur. Ancak daha karmaşık ama gerçek sistemi ifade eden durumlarda ise çoğunlukla sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Erel ve Sarin (1998) uygulanmış olan sezgisel algoritmalar açısından bir derleme çalışması yapmışlardır. Uygulanmış olan bazı sezgisel algoritmalar ise şu şekildedir: Comsoal, Genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması, öncelik sıralamalı sezgisel, Hoffmann sezgiseli ve en kısa yol algoritması vb.

Becker ve Scholl (2006) MHD problemlerini maliyet ve kar amaçlı olma durumu, ekipman seçimi ve süreç alternatiflerine göre, paralel istasyon ve görev açısından, atama kısıtlarına göre, işlem zamanının stokastik ve deterministik olma durumuna göre ve kullanılan ürün çeşitliliği açısından ele almıştır.

Boysen, Flidner ve Scholl (2007), MHD problemi için yapılmış olan çalışmaları öncelik

ilişkileri özellikleri, istasyon ve hat özellikleri ile amaç açısından gruplandırmıştır. Ayrıca çözüm yöntemi olarak kullanılan kesin çözüm yöntemleri ve metasezgisel yöntemleri açısından inceleme yapmıştır. İncelenen çalışmalarda kesin çözüm yöntemi olarak dinamik programlama, dal ve sınır algoritması, dal kesme algoritması, sütun oluşturma ve birerleme yaklaşımı kullanıldığı görülmektedir. Çözüm yöntemi olarak kullanılan metasezgisel algoritmalar olarak tabu arama algoritması, genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması, karınca koloni optimizasyon algoritması ve açgözlü rassal arama prosedürü şeklindedir.

Boysen, Fliedner ve Scholl (2009) MHD problemleri için hangi modelin ne zaman kullanılacağı açısından bir derleme çalışması yapmışlardır. Ürün tipine göre, hattın ilk defa ya da yeniden dengelenme durumuna göre (ilk defa ya da yeniden dengeleme), otomasyon seviyesine göre (manuel ya da otomatik), hattın uygulandığı iş alanına göre (otomotiv ya da diğerleri) gerçekleştirilmiş olan çalışmalar incelenmiştir.

Battaia ve Dolgui (2013) MHD problemi ile ilgili 2007-2012 yılları arasında yapılmış olan 300 çalışmayı için bir derleme çalışması yapmışlardır. İstasyon yapısına göre, probleme özel kısıtlara göre 8atama, ergonomi, çevrim süresi vb.), amaç fonksiyonu ve kullanılan çözüm yöntemine göre çalışmaları incelemişlerdir.

Sivanankaran ve Shahabudeen (2014) gerçekleştirilmiş olan çalışmaları sekiz farklı sınıfa ayırmışlardır. Ürün çeşitliliğine göre tek ve karışık modelli, görev süresinin deterministik ya da stokastik olma durumuna göre düz ve U-tipi hatlar şeklinde inceleme yapılmıştır. Gerçekleştirilen MHD problemi çalışmalarında başvurulan metotlar matematiksel model, petri ağları algoritmaları, sezgisel yaklaşımlar, genetik algoritma, tavlama benzetimi algoritması, tabu arama algoritması, karınca koloni optimizasyon algoritması, en kısa yol algoritması, memetik algoritma, parçacık sürü optimizasyon algoritması ve arı algoritması şeklindedir.

Hazır, Delorme ve Dolgui (2014) MHD problemi için maliyet tabanlı çalışmaları dikkate almıştır. Kullanılan ekipman, işçi, stok, hazırlık zamanı, hatalı ürün ve yeniden dengeleme maliyetleri açısından gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir.

Li, Küçükkoç ve Nilakantan (2017) çift taraflı montaj hattı dengeleme problem için kullanılan sezgisel ve metasezgisel algoritmalar için kapsamlı bir derleme çalışması yapmışlardır. Daha önce yapılmış olan çalışmalara ek olarak kullanılan metasezgisel algoritmaların performansları açısından değerlendirmesi de yapılmıştır.

Bakar, Ramli, Sin ve Masran (2019) robotik montaj hattı dengeleme problemi için bir derleme çalışması yapmışlardır. İleri sezgisel, sezgisel ve kesin çözüm yöntemleri açısından 2009-2019 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir. Robotik montaj hattı dengeleme problemlerinde, metasezgisel algoritmaların genellikle çevrim zamanı en küçüklemesi problemlerinde uygulandığı görülmektedir.

Eghtesadifarda, Khalifehb ve Khorrama (2020) “web of science” veri tabanında taranan dergilerde 1990-2017 yılları arasında yayınlanmış olan çalışmaları ele almışlardır. MHD problemi hangi ülkede, hangi kurumda ve hangi yazarlar tarafından ne sıklıkla çalışıldığı bilgisi verilmektedir. Ülkeler, kurumlar ve yazarların hangi sıklıkla ve kimlerle birlikte işbirliği çalışmaları yaptığı incelenmiştir. Çözüm yöntemi olarak hangi yöntemlerin kullanıldığı da verilmektedir. Bunlara ek olarak çalışmaların ne kadar atıf aldığı ve ne ölçüde diğer çalışmalar tarafından kaynak olarak dikkate alındığı bilgisi sunulmaktadır.

3.2. KMHD Problemi için Yapılmış Olan Çalışmalar

Kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi için gerçekleştirilmiş olan çalışmalar ise şu şekildedir:

Buckin ve Tzur (2000), esnek montaj hatları için ekipman seçimini dikkate almışlardır. Bir dal sınır algoritması geliştirerek etkin çözümlere ulaşmışlardır. Bu çalışmada üç farklı özelliğe sahip ekipman söz konusudur. Kullanılan ekipmana göre işlem süreleri farklılık göstermektedir.

Buckhin ve Rubinovitz (2003), paralel istasyonlu montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Sistem parametreleri montaj sıra esnekliği ve çevrim süresinin etkisi araştırılmıştır. Ekipman seçimli paralel istasyon için doğrusal bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Ağpak ve Gökçen (2005), KMHD problemi için alternatif kaynak durumunu dikkate alan ilk çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada bir görev için iki farklı tipteki kaynaktan birisine ihtiyaç duyulan durum söz konusudur. 0-1 tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiş ve örnek bir problem için sonuç elde edilmiştir.

Pekin ve Azizoğlu (2008) her bir görevin birden fazla alternatif kaynak kullanımının söz konusu olduğu KMHD problemini ele almışlardır. Dal-sınır algoritmasını kullanarak geliştirdikleri kaynak kısıtlı modellerde 25 görevli ve 5 adet kaynağa kadar etkili olduğu sonucunu bulmuşlardır.

Kao, Yeh, Wang ve Hung (2010), en kısa yol algoritması ile Tip-1 KMHD problemi ele alınmıştır. Bir örnek problem üzerinde önerilen algoritmanın etkinliği gösterilmektedir.

Corominas ve diğerleri (2011) genel kaynaklı kısıtlı montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Bir başka deyişle, her bir görev tek, çoklu, alternatif ve/veya eşzamanlı kaynağa ihtiyaç duyabilmektedir. Ayrıca mevcut kaynaklar için bir üst sınır hesabı yapılmıştır. Geliştirilen matematiksel model için deneysel bir çalışma yapılmış ve matematiksel modelin etkinliği ispatlanmıştır.

Kao, Yeh ve Wang (2011), Ağpak ve Gökçen (2005)'in geliştirmiş oldukları 0-1 tam sayılı matematiksel model büyük boyutlu problemlerde etkinliği kaybetmektedir. Bu sebeple sıra konum ağırlıklı yöntem kullanılarak basit etkin bir sezgisel yöntem önerilmiştir.

Barutçuoğlu ve Azizoğlu (2011) farklı ekipman maliyetlerini dikkate alan esnek MHD problemini ele almışlardır. Ele alınan çalışmada çevrim süresi ve istasyon sayısının bilindiği durum için toplam maliyet en küçükleme söz konudur. Dal sınır algoritması ile etkin alt sınırlar geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar büyük boyutlu problemler için makul sürelerde çözümlere ulaşıldığı görülmektedir.

Kara, Özgüven, Yalçın ve Atasagun (2011), U tipi hatlar için yeni bir tam sayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. U tipi hatlarda kaynak ihtiyacını dikkate alan ilk çalışmadır. Deneysel çalışmalar ile düz bir hattın U tipine dönüştürölmesi ile toplam maliyette kazanç sağlandığı istatistiksel olarak gösterilmiştir.

Mete ve Ağpak (2013), Corominas ve diğerleri (2011)'nin genel kaynaklı kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi için geliştirmiş oldukları matematiksel modeli çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi için uygulamıştır. Önerilen model, üç farklı amaç (istasyon sayısı, pozisyon sayısı ve kaynak maliyetinin en küçükleme) için değerlendirilmiştir.

Kara ve Atasagun (2013) paralel montaj hattı dengeleme problemi için kaynak atamasını da dikkate alan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Örnek problem için modelin geçerliliği test edilmiştir.

Jayaswal ve Agarwal (2014), U tipi montaj hatlarında alternatif işçi veya kaynak durumu için bir matematiksel model önermiştir. Matematiksel model küçük ve orta boyutlu problemlerde iyi sonuçlara ulaşabilirken büyük boyutlu problemlerde uygun çözümlere ulaşamamıştır. Bu sebeple, yeni bir tavlama benzetimi algoritması ile büyük boyutlu test problemleri için uygun çözümlere ulaşılmıştır.

Ogan ve Azizoğlu (2015) U tipi montaj hattında her bir görevin belirli bir kaynak kümesi elemanları ile yapıldığı ve her bir kaynağın maliyetinin olduğu durum ele alınmıştır. Toplam maliyet en küçükleme amaçlanmıştır. Karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiş ve dal sınır algoritması ile etkin alt sınırlar geliştirilmiştir.

Mete, Çil, Özceylan ve Ağpak (2016) kaynak kısıtlı de-montaj hattı dengeleme problemi için bir matematiksel model geliştirmiş ve literatürde yer alan iki test problemi için sonuçlar elde etmişlerdir. Her bir görev için tek tip kaynak kullanımının söz konusu olduğu durum ele alınmıştır.

Kamarudin ve Roshid (2017), KMHD problemi için genetik algoritma uygulamışlardır. Önerdikleri iki yeni çaprazlama operatörü ile mevcut tek ve çoklu nokta çaprazlama operatörleri performans karşılaştırılması yapılmıştır.

Quyen, Chen ve Yang (2017) bir ayakkabı üretim tesisi için KMHD problemini ele almışlardır. Çözüm yöntemi olarak hibrit bir genetik algoritma geliştirmişler. Bu algoritmanın ilk aşamasında, öncelik kuralına dayalı bir metot ile uygun bir çözüm elde edilir. Elde edilen çözüm genetik algoritma için başlangıç çözümü olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. Kaynak kısıtlı MHD problemi

Yazarlar	Hat	Çözüm Yöntemi	Amaç Fonksiyonu	Açıklama
Buckhin ve Tzur (2000)	Düz	Matematiksel model, sezgisel yöntem	Kaynak maliyeti en küçükleme	Esnek montaj hatları için alternatif ekipman seçimi ele alınmıştır.
Buckhin ve Rubinovitz (2003)	Düz	Dal Sınır	İstasyon ve maliyet en küçükleme	Paralel istasyon ele alınmıştır.
Ağpak ve Gökçen (2005)	Düz	Matematiksel model	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Görevler için alternatif iki tip kaynak kullanımı söz konusudur.
Pekin ve Azizoğlu (2008)	Düz	Matematiksel model	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Dal sınır algoritması ile küçük boyutlu problemler için etkin alt sınırlar geliştirmişlerdir.
Kao ve diğerleri (2010)	Düz	En kısa yol algoritması	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Makine ve işçi için farklı tipte kaynaklar dikkate alınmıştır.
Corominas ve diğerleri (2011)	Düz	Matematiksel model	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Her bir görev tek, birden fazla ya da alternatif özellikte kaynak atamasına imkân sunuyor.
Barutçuoğlu ve Azizoğlu (2011)	Düz	Matematiksel model	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Farklı ekipman maliyetlerini dikkate alan bir çalışmadır.
Kara ve diğerleri (2011)	Düz ve U-tipi	Matematiksel model	İstasyon, işçi ve kaynak sayısı en küçükleme	U-tipi hatlar için kaynak ataması ilk defa ele alınmıştır.
Kao ve diğerleri (2011)	Düz	Pozisyon Ağırlıklı sezgisel yöntem	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Ağpak ve Gökçen (2005) çalışması için etkili sonuçlar geliştirmişlerdir.
Mete ve Ağpak (2013)	Düz	Matematiksel model	İstasyon, pozisyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Corominas ve diğerleri (2011) çalışması çift taraflı hatlar için uygulanmıştır.
Kara ve Atasagun (2013)	Paralel	Matematiksel model	İstasyon, işçi ve kaynak sayısı en küçükleme	4 farklı çevrim süresi senaryosu için karşılaştırma yapılmıştır.
Jayaswal ve Agarwal (2014)	U-tipi	Tavlama Benzetimi	İstasyon, işçi ve kaynak sayısı en küçükleme	Alternatif işçi ve kaynak durumu ele alınmıştır.
Ogan ve Azizoğlu (2015)	U-tipi	Matematiksel model	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Etkin bir dal sınır algoritması geliştirmişlerdir.
Mete ve diğerleri (2016)	Düz	Matematiksel model	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	De-montaj hattı dengeleme problemi için bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Çizelge 3.1. (devam) KMHD problemi

Yazarlar	Hat	Çözüm Yöntemi	Amaç Fonksiyonu	Açıklama
Kamarudin ve Roshid (2017)	Düz	Genetik algoritma	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Farklı çaprazlama operatörlerinin etkisi karşılaştırılmıştır.
Quyen ve diğerleri (2017)	Düz	Genetik Algoritma	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Bir gerçek hayat problemi için öncelik kurallı metot ile hibrit genetik algoritma uygulanmıştır.
Şahin ve diğerleri (2018)	Düz	Matematiksel model, Tavlama Benzetimi	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Hibrit bir çözüm yöntemi uygulanmıştır.
Chen ve diğerleri (2018)	Düz	Matematiksel model	İstasyon, kaynak ve işçi sayısı en küçükleme	Görevler için alternatif kaynak kullanımını dikkate almışlardır.
Yadav ve diğerleri (2019)	Paralel	Matematiksel model	İstasyon ve kaynak sayısı en küçükleme	Paralel hatlar için kaynak paylaşımı söz konusudur.
Şahin ve Kellegöz (2019)	Düz	PSO, Guggukkuşu, Tabu	İstasyon, kaynak ve işçi sayısı en küçükleme	Çok işçili montaj hatları için kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır.
Yadav ve Agrawal	Paralel	Matematiksel model	Kaynak sayısı en küçükleme	Küçükkoç ve Zhang (2015)'un çalışmasında yer alan örnek problem verisi için kaynak paylaşımlı durum ele alınmıştır.

Şahin, Kellegöz ve Söylemez (2018) çok işçili montaj hattı dengeleme problemi için kaynak yatırım maliyeti en küçüklemesine yönelik tavlama benzetimi algoritması ve tam sayılı doğrusal programlama modeline dayalı yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Literatürde yer alan test problemleri için geliştirilen çözüm yönteminin etkinliği gösterilmiştir.

Chen, Cheng ve Li (2018), çok işçili KMHD problemi için karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirmiştir. Otomotiv sanayi sektöründe yer alan bir işletme için uygulama çalışması yapılmıştır. Dört tip kaynağın kullanılabilir olduğu durumu için kaynak, işçi ve istasyon sayısı en küçükleme amaçlanmıştır.

Yadav, Kulhary, Nishad ve Agrawal (2019), paralel çift taraflı kaynak kısıtlı MHD problemi için yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir. İki paralel hat arasında belirli görevler için kaynak paylaşımına izin veren durum incelenmiştir. Literatürde yer alan 9, 12, 16 ve 24 görevli problemler için sonuçlar değerlendirilmiştir.

Şahin ve Kellegöz (2019) çok işçili montaj hatları için kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Bu problem için karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Orta ve büyük boyutlu test problemleri için Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması ve özel bir çözüm kurucu sezgisel hibrit olarak uygulanmıştır. Hibrit parçacık sürü optimizasyonu algoritması performansı, tabu arama ve gugukkuşu algoritmaları ile karşılaştırmışlardır. Geliştirilen alt sınır ile elde edilen sonuçların yüzde sapma değerleri karşılaştırılmıştır.

Yadav ve Agrawal (2019), kaynak kısıtlı çok işçili paralel çift taraflı montaj hattı dengeleme problemini ele almışlardır. Bu problem için bir matematiksel model önermişlerdir. Literatürde daha önce Küçükkoç ve Zhang (2015) tarafından kullanılmış olan bir örnek problem için sonuçlar verilmektedir.

3.3. MHD Problemi için Kullanılan Bazı Çözüm Yöntemleri

Klasik en iyileme problemleri iki amaca sahiptir ve bunlar maliyet en küçüklemesi ve kâr en büyüklemesidir. Bir en iyileme problemi olan MHD problemi için matematiksel model ile kesin sonuçlara ulaşmanın zor olduğu ya da mümkün olmadığı durumlarda sezgisel algoritmalar başvurulmaktadır. Sezgisel algoritmalar problemlere özgü geliştirilmiş olan çözüm yöntemleridir. Probleme özgü olmayan farklı problem tiplerinde de iyi çözümlere ulaşabilen algoritmalar metasezgisel algoritmalar adı verilmektedir (Talbi, 2009).

Daha kısa sürelerde daha iyi sonuçlara ulaşabilmek için metasezgisel algoritmalar tercih edilmektedir. İleri sezgisel algoritmalar bir çözüm üzerinden arama yapması ya da aynı anda birden fazla çözüm üzerinde arama yapma durumuna göre tek çözüm veya popülasyon tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Talbi, 2009). En fazla bilinen tek çözüme dayalı algoritmalar “tavlama benzetimi, tabu arama, değişken komşu arama ve iteratif yerel arama” yöntemleridir. Popülasyon tabanlı algoritmalar örnek geliştirilmiş olan bazı algoritmalar şu şekildedir: “genetik algoritma, karınca koloni optimizasyon algoritması, parçacık sürü optimizasyon algoritması, yapay bağışıklılık sistemi algoritması, yapay sinir ağları ve yapay arı koloni algoritmasıdır. Bu algoritmalar ek olarak “gugukkuşu algoritması, ağaçkakan algoritması, maymun arama algoritması, zıplayan kurbağa algoritması, harmoni arama algoritması” gibi birçok algoritma geliştirilmiştir (Talbi, 2009; Karaboğa, 2011).

MHD problemleri için farklı metasezgisel algoritmalar uygulanmıştır (Purnomo ve Wee, 2014). Son yıllarda yapılan MHD problemlerinde en fazla kullanılan algoritmalar “karınca koloni optimizasyon algoritması, genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyon algoritması, tavlama benzetimi algoritması, diferansiyel gelişim algoritması” olduğu görülmektedir (Mohammed ve diğerleri, 2019). MHD problemlerine uygulanmış olan bazı algoritmalar şu şekildedir: “Comsoal (Arcus, 1965), tabu arama algoritması (Chiang, 1998), tavlama benzetimi algoritması (Suresh ve Sahu, 1994), genetik algoritma (Leu ve diğerleri, 1994), yapay arı kolonisi algoritması (Özbakır ve Tapkan, 2011), karınca koloni optimizasyon algoritması (Bautista ve Pereira, 2002; Vilarinho ve Simaria, 2006; Delice ve diğerleri, 2018), diferansiyel gelişim algoritması (Zhang ve diğerleri, 2016), parçacık sürü optimizasyonu algoritması (Li ve diğerleri, 2016), elektro manyetik alan optimizasyonu algoritması (Şahin ve Kellegöz, 2019), iteratif yerel arama algoritması (Antoine, 2016), değişken komşu arama algoritması (Shaaban ve diğerleri, 2015)” gibi metasezgisel algoritmaların uygulamaları söz konusudur.

Kaynak paylaşımlı KMHD problemi için kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi adı verilen bazı çalışmalar incelenmiştir. Kaynak kısıtlı proje çizelgelemede her bir kaynak için çizelgeler belirlenmektedir. Bu tip problemler, gerçekleştirilecek görevler dizisi için gerekli olan insan, ekipman ve makine gibi kaynakların çizelgelenmesi olarak karşımıza çıkmaktadır (Brucker, Drexl, Neumann ve Pesch, 1999). Kopanos, Kyriakidis ve Georgiadis (2014) ise kaynak çizelgeleme problemi için kaynak çizelgelerinde çakışmaların önleildiği bir matematiksel model önermektedirler.

4. KAYNAK PAYLAŞIMLI KAYNAK KISITLI MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi (KPMHD)

Çalışmanın bu aşamasında Kaynak Paylaşımli Kaynak Kısıtlı Montaj Hattı Dengeleme Problemi (KPMHD) tanımı yer almaktadır. KMHD problemlerinin özellikleri ve kaynak paylaşımından bahsedilecektir. Örnek bir çalışma ile kaynak paylaşımının genel kaynak atamalı montaj hattı dengeleme probleminden farkı ortaya konmuştur. Bunlara ek olarak geliştirilmiş olan karma tam sayılı matematiksel model bu bölümde yer almaktadır. Geliştirilen modelin kısıt ve açıklamaları detaylı şekilde sunulmaktadır.

4.1. Problem Tanımı

NP-Zor problemlerinin çözümünde genellikle bazı varsayımlara başvurulur. Her bir ayrı varsayım gerçek problemden uzaklaşmaya sebep olur. Çünkü problem yapısı zorlaştıkça çözüm elde edebilmek zorlaşmaktadır. Düz MHD probleminde yapılan bazı varsayımlar şu şekildedir: tek bir model üretilmekte, görevler arası sıra bağımlı hazırlık zamanları söz konusu olmaması, işlem zamanlarının deterministik olması, herhangi bir ekipmana ihtiyaç duyulmaması gibi (Andres ve diğerleri, 2008; Özcan ve Toklu, 2009; Hamta, Ghomi, Jolai ve Bahalke, 2011). Gerekli kaynak ihtiyacını dikkate alan bir MHD probleminde görevler istasyonlara atanırken aynı zamanda görevlere de kaynakların ataması gerçekleştirilmektedir. Görevlerin istasyonlara atanması ve görevlerin işlemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli olan kaynakların/ekipmanların da görevlere atanmasını içeren MHD problemine kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi adı verilmektedir.

Üretim sistemlerinde kullanılan kaynak/ekipman/araçlar taşınabilir küçük ekipmanlar, taşınamaz sabit ekipmanlar ya da robotik ekipmanlar şeklinde gruplandırılabilir. Operatör yapması gereken işleri gerçekleştirirken şarjlı matkap, pense, tornavida, havalı zımba/çivi makinesi, kompresör, vinç ya da robot kolları vb. ekipmanları kullanabilmektedir. Yapılacak tüm işler için bir kaynağa ihtiyaç duyulmayabilmektedir. İki adet alt bileşen parçanın eklenti yerlerinden birbirine geçirilerek yapılan bir işlemde herhangi bir kaynağa ihtiyaç da duyulmayabilmektedir. Bazı görevler için birden fazla ekipman alternatifi de söz konusudur. Yani bir görevin tamamlanabilmesi için A tipinde veya B tipinde bir ekipmandan herhangi birisi yeterli olacaktır. Bazı durumlarda ise birden fazla ekipmana aynı anda ihtiyaç

duyulduğu durumlar vardır. Bir ürünün tamamlanabilmesi için yüzlerce görevin olduğu durumlar dikkate alındığı zaman bu görevler için aynı ya da farklı tipte yüzlerce kaynağa da ihtiyaç duyulacaktır. Bu gereksinim dikkate alınarak üretim sistemlerinde maliyetleri minimize etmek için gerekli kaynak sayısı en küçüklemesi önemli bir rol almaktadır. Çünkü günümüzde bir işletme için en büyük maliyet kalemlerinden birisi ürünün üretilmesi için gerekli yer, makine ve kaynak maliyeti yani kurulum maliyetidir (Yuan ve diğerleri, 2004). Genel kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemlerinde bir kaynak sadece bir istasyona atanabilmektedir. Ancak önerilen bu çalışma ile istasyonlar arası kaynak paylaşımı sayesinde daha az kaynak ile daha düşük maliyetlerde montaj hattı sistemleri kurulabilecektir. Sadece maliyet değil aynı zamanda daha az ekipman kullanımı ile daha düzenli bir sistem elde edilebilir.

Varsayımlar

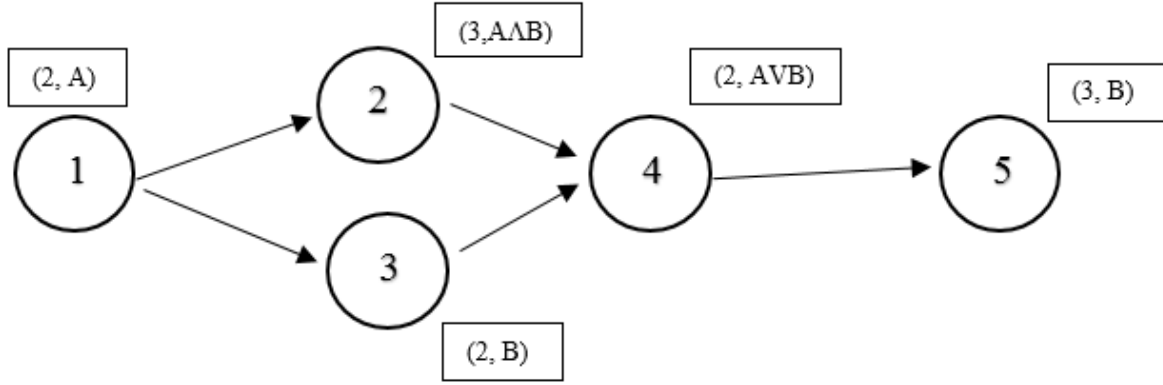
- Montaj hattında tek bir ürün tipi üretilmektedir.
- Her bir görev tek bir istasyonda yapılabilir ve bir görev herhangi bir istasyona atanabilir.
- İşlem süreleri deterministiktir.
- Öncelik ilişkileri bilinmektedir.
- Bir görev için birden fazla kaynak kullanımı söz konusu olabilir.
- Kaynaklar ardışık istasyonlarda ortak kullanılabilir.
- Kaynak değişimleri sırasında operatörlerin yürüyüş süreleri göz ardı edilmiştir.
- Kaynak sayısı yeterli sayıdadır.

4.2. Açıklamalı Örnek

Bu bölümde açıklamalı bir örnek bulunmaktadır. Genel kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi ile kaynak paylaşımlı montaj hattı dengeleme problemi arasındaki fark daha net bir şekilde anlaşılabilecektir.

Beş görevden oluşan bir problem için görev zamanları ve görevler için gerekli kaynak ihtiyacı aşağıda Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Düğümler görev numaralarını gösterirken oklar öncelik ilişkilerinin yönünü göstermektedir. Düğümler üzerinde yer alan kutular ise görevlerin işlem zamanları ve gerekli kaynak kümelerini ifade etmektedir. Örneğin, Görev 1 için iki birimlik bir işlem zamanı gerekli ve A tipi kaynağa ihtiyaç duymaktadır. Görev 2

ise üç birim işlem zamanı ile A ve B kaynaklarına eş zamanlı ihtiyaç duymakta iken dört numaralı görev bu iki kaynak tipinden herhangi birisine ihtiyaç duymaktadır. Görevler 3 ve 5 için de sadece B tipi kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.1. Öncelik ilişkileri, görev zamanları ve gerekli kaynak ihtiyaçları

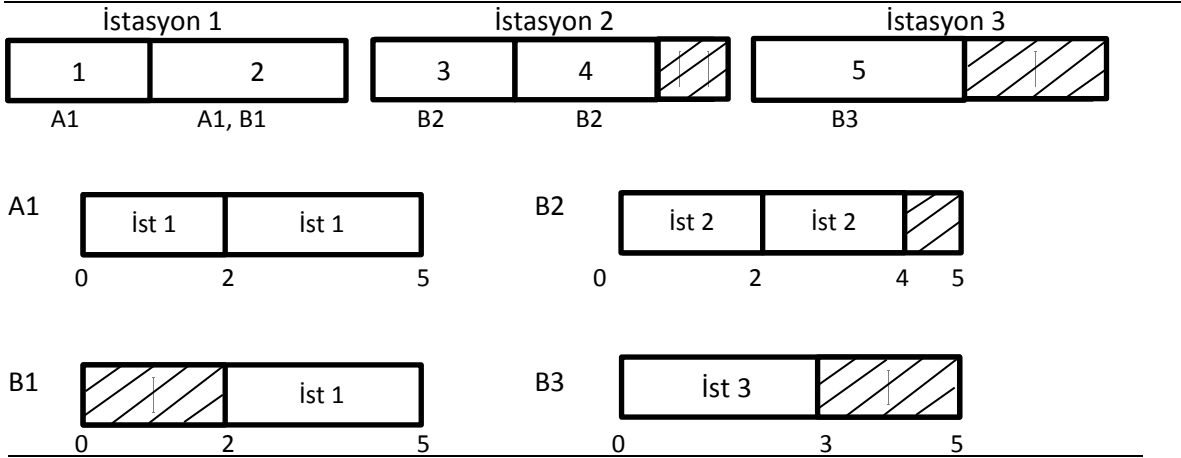
Şekil 4.1’de verilen örnek problem için çevrim süresi beş birim olduğu durum dikkate alınmıştır. Montaj hattının temel kısıtları olan öncelik ilişkileri, çevrim süresi ve atama kısıtları dikkate alınarak en iyi istasyon sayısı üç olarak bulunmuştur. MHD probleminde çok fazla alternatif çözüm ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeple atamada ortaya çıkabilecek alternatif sonuçlar ile kaynak sayı ihtiyacı değişebilmektedir. Yukarıdaki örnekte yer alan problem için istasyon sayısı üç olan beş alternatif sonuç söz konusudur. Elde edilen farklı istasyon dengeleri $\{\{1,2\}, \{3,4\}, \{5\}\}$, $\{\{1,3\}, \{2,4\}, \{5\}\}$, $\{\{1,2\}, \{3\}, \{4,5\}\}$, $\{\{1,3\}, \{2\}, \{4,5\}\}$, $\{\{1\}, \{2, 3\}, \{4,5\}\}$ şeklindedir.

Birleştirme yoluyla elde edilen sonuçlarda ortaya çıkabilecek alternatif durumlar aşağıdaki gibidir.

Durum 1

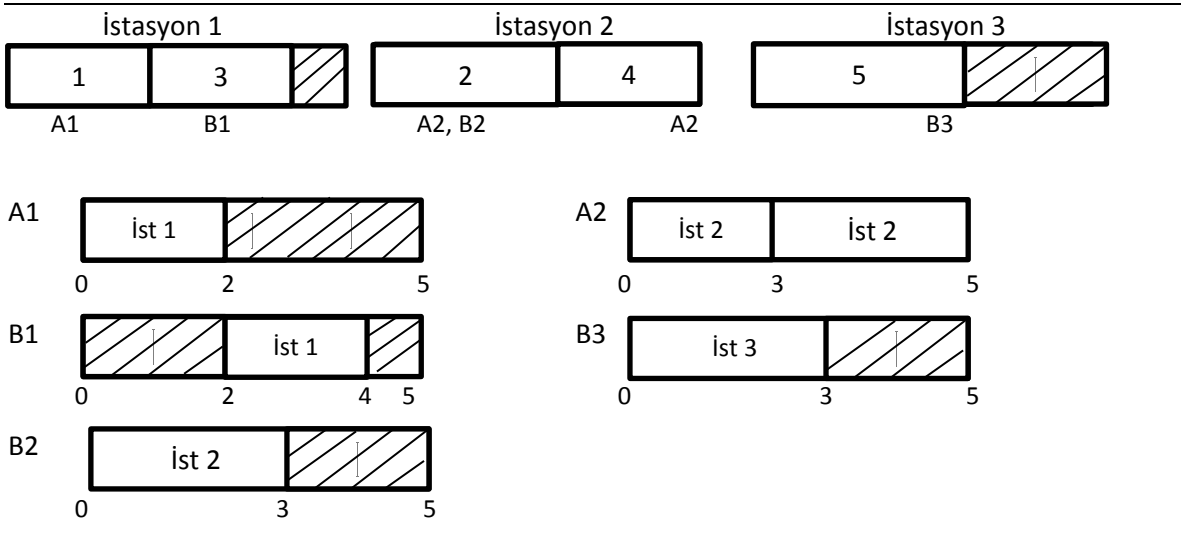
Alternatif 1: Ortak kaynak kullanımına izin verilmeyen durum için elde edilen montaj hattı dengelerinden bir tanesi aşağıdaki gibidir. Ayrıca her bir kaynak için hangi istasyonda hangi zaman dilimlerinde kullanılacağı bilgisi de bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre açılan üç istasyonda, bir adet A tipinde kaynak ve üç adet B tipinde kaynak kullanılmaktadır. A tipindeki kaynak %100 oranında kullanılırken B tipindeki kaynakların kullanım oranı %66,6’dır. İstasyon 1’de bir ve iki numaralı görevler, İstasyon 2’de üç ve dört numaralı

görevler ve 3'üncü istasyonda da 5 numaralı görev gerçekleştirilmektedir. 1'inci görev için A1, 2'inci görev için A1 ve B1, 3'üncü görev için B2, 4'üncü görev için B2 ve 5'inci görev için B3 kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum 1'inci alternatif

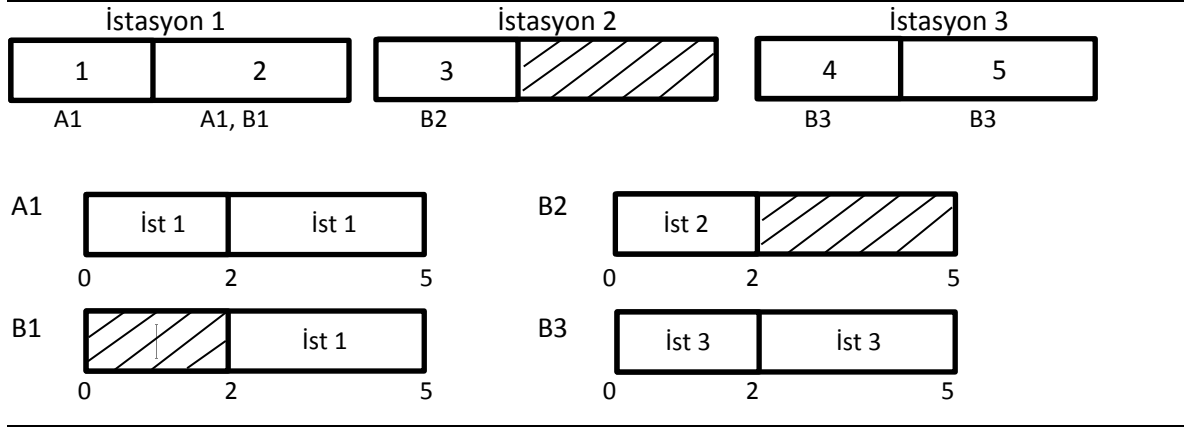
Alternatif 2: Kaynak paylaşımı olmayan durum için ikinci bir alternatif Şekil 4.3'deki şekildedir. Bu durumda iki adet A tipinde ve üç adet B tipinde kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. A tipindeki kaynaklar %70 oranında dolu iken B tipi kaynaklar %50 oranında doluluğa sahiptir.



Şekil 4.3. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum 2'inci alternatif

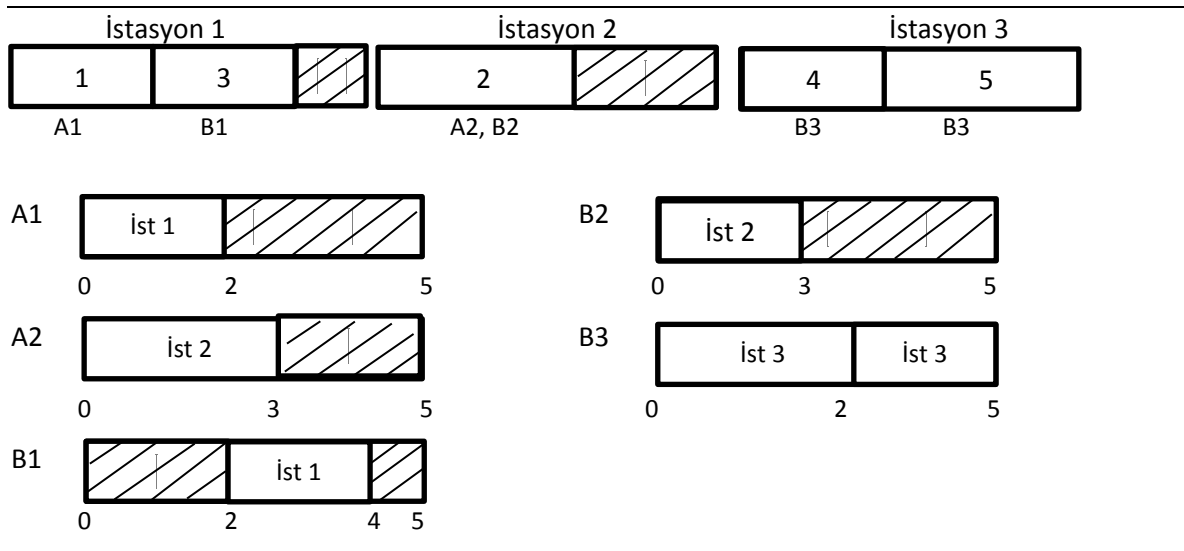
Alternatif 3: Kaynak paylaşımına izin verilmeyen durum için elde edilen başka bir alternatif montaj hattı dengesi aşağıdaki gibidir. Elde edilen sonuçlara göre açılan üç istasyonda bir

adet A tipinde kaynak ve üç adet B tipinde kaynak kullanılmaktadır. A tipindeki kaynak %100 oranında kullanılırken B tipindeki kaynakların kullanım oranı %66,6'dır.



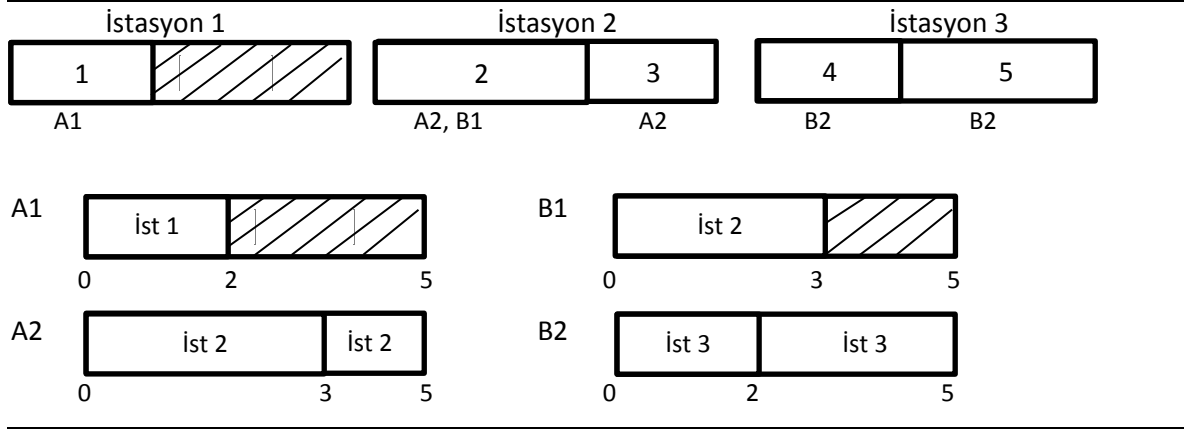
Şekil 4.4. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum için 3'üncü alternatif

Alternatif 4: Kaynak paylaşımına izin verilmeyen durum için elde edilen başka bir alternatif montaj hattı dengesi Şekil 4.5'deki gibidir. Elde edilen sonuçlara göre açılan üç istasyonda iki adet A tipinde kaynak ve üç adet B tipinde kaynak kullanılmaktadır. A tipindeki kaynak %50 oranında kullanılırken B tipindeki kaynakların kullanım oranı %60'dır.



Şekil 4.5. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum için 4'üncü alternatif

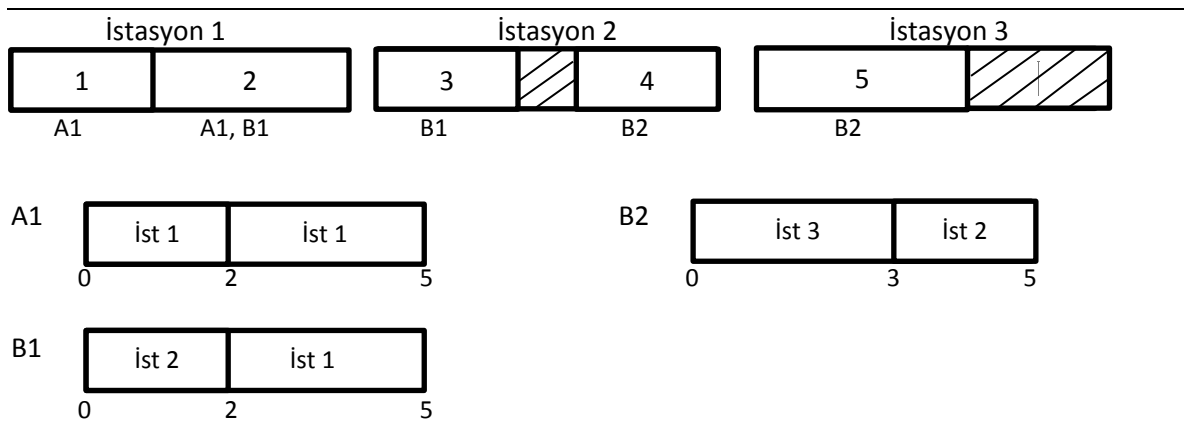
Alternatif 5: Elde edilen diğer bir alternatif durum Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Üç istasyon için iki adet A tipi ve iki adet B tipi kaynak ihtiyacı söz konusudur. Kullanılan A tipi kaynaklar %50 oranında B tipi kaynaklar ise %80 oranında doluluk oranına sahiptir.



Şekil 4.6. Kaynak paylaşımına izin vermeyen durum için 5'inci alternatif

Durum 2

Kaynak paylaşımına izin veren durum için elde edilen montaj hattı dengesi Şekil 4.7’de gösterildiği gibidir. Ayrıca her bir kaynak için hangi istasyonda hangi zaman dilimlerinde kullanılacağı bilgisi de bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre açılan üç istasyonda bir adet A tipinde kaynak ve iki adet B tipinde kaynak kullanılmaktadır. Her bir kaynağın kaynak kullanım oranları 100%’dür.



Şekil 4.7. Kaynak paylaşımına izin veren durum için elde edilen çözüm

A1 kaynağı 0-2 ve 2-5 zaman aralıklarında 1'inci istasyonda sırasıyla Görev 1 ve Görev 2 için kullanılmıştır. B1 kaynağı ise 0-2 zaman biriminde İstasyon 2'de Görev 3 için kullanılırken 2-5 aralığında ise İstasyon 1'de Görev 2 için kullanılmıştır. B2 kaynağı da 0-3 zaman diliminde İstasyon 3'de Görev 5 için kullanılırken 3-5 zaman aralığında iki numaralı istasyonda Görev 4 için kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de özetlenmektedir. Durum 1 için birerleme yoluyla elde edilen beş sonuç ve durum iki sonuçlarına göre aynı istasyon sayısına sahip olmalarına rağmen gerekli kaynak sayısı farklılık göstermektedir.

Çizelge 4.1. Örnek problem için birerleme yolu ile elde edilen sonuçlar

Durumlar	Alternatif çözümler	İstasyon ataması	Gerekli kaynak sayısı	Gerekli kaynak tipleri
Durum 1	Alternatif 1	{{1,2},{3,4},{5}}	4	1A, 3B
	Alternatif 2	{{1,3},{2,4},{5}}	5	2A, 3B
	Alternatif 3	{{1,2},{3},{4,5}}	4	1A, 3B
	Alternatif 4	{{1,3},{2},{4,5}}	5	2A, 3B
	Alternatif 5	{{1},{2,3},{4,5}}	4	2A, 2B
Durum 2	Alternatif	{{1,2},{3,4},{5}}	3	1A, 2B

MHD problemleri çok fazla alternatif çözüme sahiptir. Kaynak kısıtlı MHD problemi içinde alternatif çözümler daha da artmaktadır. Çünkü her bir görev için gerekli olabilecek kaynak türü de değişiklik gösterebileceği için eşit amaç fonksiyonuna sahip alternatif çözümler olabilecektir. Ancak kaynak paylaşımı özelliği kazandırılmış olan bir montaj hattı bunlara ek olarak daha düşük amaç fonksiyonu değerine yani kaynak sayısına imkân sağlayacaktır. Çünkü kaynak kullanım yüzdeleri yükselecek ve daha az kaynağa ihtiyaç duyulabilecektir.

4.3. Matematiksel Model

Bu çalışma istasyonlar arasında kaynak paylaşımına izin veren yeni bir matematiksel model sunmaktadır. Matematiksel model hem istasyon sayısı en küçükleme hem de kaynak sayısı en küçüklemesini amaçlamaktadır. Dikkate alınan hat; düz, tek modelli, tek işçili, Tip-1 ve kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemidir. Geliştirilen model karma tam sayılı bir

matematiksel modeldir. Görev ve kaynak atamaları 0-1 tam sayılı iken görev başlangıç ve bitiş zamanları sıfırdan büyük tam sayılıdır.

Matematiksel modelde kullanılan notasyonlar şu şekildedir:

İndisler

i, h	: Görev
j	: İstasyon
r	: Kaynak
b	: Durum

Parametreler

n	: Görev sayısı	
m	: İstasyon sayısı	
Tr	: Kaynak sayısı	
I	: Görev kümesi	$I=\{1,...,i,...,n\}$
J	: İstasyon kümesi	$J=\{1,...,j,...,m\}$
B_i	: i görevinin ihtiyaç duyduğu kaynak sayısı	$B=\{0, 1, 2, 3, 4\}$
R	: Kaynak kümesi	$R=\{1, ..., r, ... , Tr\}$
P_i	: i görevi hemen öncül kümesi	
T_i	: Görev i işlem zamanı	
C	: Çevrim süresi	
ε	: Küçük pozitif bir değer ($\varepsilon = \frac{1}{(b_{max}*n)+1}$)	
M	: Çok büyük pozitif bir değer	
GS	: Görev sayısı	
NM_r	: r tipindeki kaynak sayısı	
$Resc_{i,r}$	: i görevi için aynı anda gerekli r kaynak sayısı	
A_{max}	: A tipinden gerekli maksimum kaynak sayısı	
B_{max}	: B tipinden gerekli maksimum kaynak sayısı	
C_{max}	: C tipinden gerekli maksimum kaynak sayısı	
D_{max}	: D tipinden gerekli maksimum kaynak sayısı	

Karar değişkenleri

$$\begin{aligned}
 X_{i,j} &: \begin{cases} 1, \text{ eğer } i \text{ görevi } j \text{ istasyonuna atanırsa} \\ 0, \text{ diğer durumda} \end{cases} \\
 Y_{i,r} &: \begin{cases} 1, \text{ eğer } r \text{ kaynağı } i \text{ görevine atanırsa} \\ 0, \text{ diğer durumda} \end{cases} \\
 NR_r &: \begin{cases} 1, \text{ eğer } r \text{ kaynağı kullanılırsa} \\ 0, \text{ diğer durumda} \end{cases} \\
 Nst &: \text{ Açılan ağırlıklı sıralanmış istasyon sayısı} \\
 ST_i &: i \text{ görevi başlama zamanı} \\
 V_{i,h} &: \begin{cases} 1, \text{ eğer } i \text{ görevi } h \text{ görevinden önce atanırsa} \\ 0, \text{ diğer durumda} \end{cases} \\
 VV_{i,h} &: \begin{cases} 1, \text{ diğer durumda} \\ 0, i \text{ görevi } h \text{ görevinin atanmış olduğu kaynaktan sonraki bir} \\ \text{ kaynağa atanırsa} \end{cases} \\
 O_{i,h} &: i \text{ ve } h \text{ görevleri aynı istasyona atandı ise } 0 \text{ değilse pozitif bir tam sayı} \\
 L_{i,h} &: \begin{cases} 1, i \text{ görevi } h \text{ görevinden önce atanırsa} \\ 0, \text{ diğer durumda} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Bu çalışmada, iki farklı maliyet söz konusudur. Maliyetin önemli bir kısmı istasyon açma/kullanma maliyetidir. Bu maliyete ek olarak belirli oranda (ϵ) kaynak maliyeti de ikincil maliyet olarak dikkate alınmaktadır. Çünkü bir montaj hattı için birincil amaç ya istasyon sayısı en küçükleme ya da çevrim süresi en küçüklemesidir. Eş. 4.1’de verildiği üzere amaç ilk olarak istasyon sayısını azaltmak daha sonra da kaynak sayısını azaltmaktır. Gerekli kaynak sayısı, ϵ değeri ile çarpılarak belirli bir ağırlıkta amaç fonksiyonuna katkı sağlamaktadır.

$$\text{En Küçükle } Z = (\epsilon \cdot \sum_r NR_r) + Nst \quad (4.1)$$

Eş. 4.2’de bir montaj hattının temel kısıtlarından olan her bir görevin sadece tek bir istasyona atanabilmesi sağlanmaktadır.

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (4.2)$$

Eş. 4.3’de istasyon sayısının en az bir görev atanmış olan istasyonların toplamı kadar olabileceğini sağlanmaktadır. Ayrıca istasyonların ağırlıklı sıralı bir şekilde açılması garanti edilir. İlk olarak İstasyon 1 daha sonra İstasyon 2 şeklinde istasyonlar sırayla açılmaktadır.

$$Nst \geq \sum_{j \in J} j \cdot X_{ij} \quad \forall i \in I \quad (4.3)$$

Eş. 4.4 ve Eş. 4.5 her bir görevin başlangıç ve bitiş zamanları, atandıkları istasyonların zaman aralıklarında olmalıdır. Her bir görev ve istasyon zamanı için çevrim zamanlarını aşmaması sağlanmaktadır.

$$(\sum_{j \in J} (j \cdot X_{ij}) - 1) \cdot C \leq ST_i \quad \forall i \in I \quad (4.4)$$

$$ST_i \geq (\sum_{j \in J} j \cdot X_{ij}) \cdot C - T_i \quad \forall j \in J \quad (4.5)$$

Eş. 4.6’da her bir istasyona atanmış olan görevlerin toplam iş yükünün çevrim süresini aşmaması garanti edilmektedir.

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \cdot T_i \leq C \quad \forall j \in J \quad (4.6)$$

Eş.4.7’de (i, h) görev çifti için öncelik ilişkileri sağlanmaktadır. h görevi i görevinin öncülü ise i görevinin başlama zamanı h görevinin başlama zamanı ile h görevinin görev süresi toplamından küçük olamaz.

$$ST_h + T_h \leq ST_i \quad \forall i \in I, h \in P_i \quad (4.7)$$

Her bir (i, h) görev çifti için aynı istasyona atanıp atanmama durumuna göre $VV_{i,h}$ yardımcı bir değişken olup iki kısıttan birisini aktif hale getirir. Eş. 4.8 ve Eş. 4.9’a göre i görevinin atandığı istasyon h görevinin atandığı istasyondan daha küçük ve eşitse $VV_{i,h}$ 1 değerini alır değilse 0 değerini alır.

$$\sum_j j \cdot X_{i,j} - \sum_j j \cdot X_{h,j} + 1 - M \cdot VV_{i,h} \leq 0 \quad \forall i, h \in I \quad (4.8)$$

$$\sum_j j \cdot X_{i,j} - \sum_j j \cdot X_{h,j} + M \cdot (1 - VV_{i,h}) \geq 0 \quad \forall i, h \in I \quad (4.9)$$

Bir istasyona atanmış olan bir görevin işlemi tamamlanmadan diğer bir göreve başlanamaz. Bu sebeple aynı istasyona atanmış olan görevlerin başlangıç ve bitiş zamanlarının kontrolü aşağıdaki kısıtlar ile sağlanmaktadır. Başka bir ifadeyle aynı istasyona atanan görevlerin aynı anda başlamaması sağlanır. Eş. 4.10 ile $O_{i,h}$ değişkeni için uygun değer atanır. Eş. 4.11 ve Eş. 4.12 sayesinde de görevlerin başlangıç ve bitiş zamanları kontrolü sağlanır. $L_{i,h}$ değişkeni, i görevi h görevinden önce yapılır ise 1 değeri alır ve Eş. 4.11 aktif hale gelir. Diğer durumda ise Eş. 4.12 aktif hale gelir.

$$\sum_j j \cdot X_{ij} - \sum_j j \cdot X_{hj} + GS \cdot (1 - VV_{ih}) = O_{ih} \quad \forall i, h \in I \quad (4.10)$$

$$ST_h \geq ST_i + T_i - M \cdot O_{ih} - M + M \cdot L_{ih} \quad \forall i, h \in I \wedge (h > i) \quad (4.11)$$

$$ST_i \geq ST_h + T_h - M \cdot O_{ih} - M \cdot L_{ih} \quad \forall i, h \in I \wedge (h > i) \quad (4.12)$$

i ve h görevleri aynı kaynağa atanmış ise aynı anda iki görevi için kullanılamamaktadır. Görev i önce yapılacak ise Eş. 4.13 aktif olur aksi durumda ise Eş. 4.14 aktif olarak bir kaynağın iki görev için kullanılması sağlanmış olur. Burada $Y_{h,r}$ ve $Y_{i,r}$ aynı anda 1 değeri alacağı için $V_{i,h}$ değişkeni sayesinde iki kısıttan birisi aktif hale gelmesi sağlanmaktadır.

$$ST_i + T_i \leq ST_h - C \cdot (\sum_{j \in J} j \cdot (X_{hj} - X_{ij})) + M \cdot (3 - Y_{hr} - Y_{ir} - V_{ih}), \quad \forall i \in I, h \in P_i, r \in R \quad (4.13)$$

$$T_h \leq ST_i - ST_h - C \cdot (\sum_{j \in J} j \cdot (X_{ij} - X_{hj})) + M \cdot (2 - Y_{hr} - Y_{ir} - V_{ih}), \quad \forall i \in I, h \in P_i, r \in R \quad (4.14)$$

Eş. 4.15 ve Eş. 4.16 bir istasyonda bulunan göreve atanan kaynağı sadece ardışık istasyona atanmasını sağlamaktadır. h ve i görevlerine aynı anda atanan bir kaynak, bu görevlerin istasyonları arasındaki farkın tek bir istasyon kadar olabileceğini garanti etmektedir.

$$(\sum_{j \in J} j \cdot (X_{hj} - X_{ij})) \leq 1 + M \cdot (2 - Y_{hr} - Y_{ir}) \quad \forall i, h \in I, r \in R \quad (4.15)$$

$$(\sum_{j \in J} j \cdot (X_{ij} - X_{hj})) \leq 1 + M \cdot (2 - Y_{hr} - Y_{ir}) \quad \forall i, h \in I, r \in R \quad (4.16)$$

Eş. 4.17'de i görevine atanmış olan kaynakların toplam sayısı r tipi kaynak sayısından büyük olmamalıdır.

$$\sum_{i \in I} Y_{ir} \leq M \cdot NR_r \quad \forall r \in R \quad (4.17)$$

Eş. 4.18 ve Eş. 4.19 kaynak atamaları ile ilgilidir. Bir görev için atanması gereken kaynakların toplam sayısı o görevin yapılması için aynı anda gerekli olan kaynak sayısına eşit olmalıdır. Örneğin; Eğer $b=0$ ise görev için herhangi bir kaynağa ihtiyaç duyulmamaktadır. $b=1$ ise tek bir kaynağa ihtiyaç gerekmektedir, o göreve tek bir kaynak atanması yapılır. $b=2$ ise aynı anda iki kaynağa ihtiyaç duyan görevler için o göreve atanacak kaynak sayısı iki olmalıdır. $b=3$ ise eş zamanlı olarak üç kaynak gerekmektedir. Aynı şekilde $b=4$ olduğu durumda aynı anda dört adet kaynak gereksinimi söz konusudur.

$$\left(\sum_{r \in R \wedge Resc_{i,r}=b} Y_{ir} \right) = b \quad \forall i \in I \quad (4.18)$$

Eş. 4.19'da her bir tipteki kaynaktan en fazla birer adet atanması sağlanmaktadır. Örneğin aynı anda A ve B kaynaklarına ihtiyaç duyan bir görevde $b=2$ için iki adet A tipinde kaynağın atanmasını engellemektedir.

$$\left(\sum_{r \in R \wedge Resc_{i,r}=b} Y_{ir} \right) \leq 1 \quad \forall i \in I \wedge \{1, 2, \dots, A_{max}\} \wedge \{(A_{max} + 1), \dots, (A_{max} + B_{max})\} \wedge \{(A_{max} + B_{max} + 1), \dots, (A_{max} + B_{max} + C_{max})\} \wedge \{(A_{max} + B_{max} + C_{max} + 1), \dots, (A_{max} + B_{max} + C_{max} + D_{max})\} \quad (4.19)$$

Kullanılan değişkenler ve bu değişkenlerin tipleri aşağıdaki şekildedir.

$$X_{ij}, Y_{ir}, V_{ih}, VV_{ih}, L_{ih}, NR_r \in \{0, 1\} \quad \forall i, h \in I, j \in J, r \in R \quad (4.20)$$

$$ST_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.21)$$

$$O_{ih} \geq 0 \quad \forall i, h \in I \quad (4.22)$$

$$Nst \geq 0 \quad (4.23)$$

4.4. Alt Sınır Hesabı

Çalışmada üç ayrı alt sınır hesabı söz konusudur. İlk olarak istasyon sayısı, daha sonra kaynak sayısı ve son olarak da amaç fonksiyonu için alt sınır geliştirilmiştir.

İstasyon sayısı alt sınır hesabı

Literatürde geliştirilmiş olan en temel alt sınır hesabı toplam görev zamanının çevrim süresine bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu çalışmada da bu alt sınır hesabı kullanılmıştır (Scholl, 1999).

$$AS_{ist} = \left\lceil \frac{\sum_{i \in I} T_i}{C} \right\rceil \quad (4.23)$$

Kaynak sayısı alt sınır hesabı

Eş. 4.18’de b parametrelerine göre gerekli kaynak sayısına göre Y_{ir} karar değişkeni değer alır. Eş. 4.13 ve Eş. 4.14’de Y_{ir} karar değişkeninin aldığı değere göre (4 kaynak kullanması gereken bir görevin örneğin, 3 numaralı görev Y_{ir} değişkenleri şöyledir; $Y_{31}=1$, $Y_{32}=1$, $Y_{33}=1$ ve $Y_{34}=1$ olacaktır) X_{ij} karar değişkeni değer alır (j istasyonuna atanan i görevinin karar değişkeni, örneğin 2’inci istasyona atanan 3’üncü görev olsun; $X_{32}=1$ olacaktır). j istasyonundaki i görevi b adet kaynağı aynı anda kullanacağından b adet her kaynak için C süresi kadar kutular (sınırlar) oluşacaktır. Eş. 4.6’ya göre çevrim süresi kısıtı kontrol edilir. Buna göre kaynak kullanımı olmaksızın istasyon sayısına ait alt sınır Eş. 4.23’de hesaplandığı gibidir (Scholl, 1999). Bu hesaplama göre, b adet kaynağa ihtiyaç duyan görevlerin b’şer adet kutuya(sınırı) ihtiyacı olacaktır. Şöyle ki, Eş. 4.23’de verilen istasyon sayısı için alt sınır aynı zamanda bütün b’lerin 1’e eşit olduğu durumdaki kaynak sayısı için alt sınırı verir. Bu nedenle b kadar kaynağa ihtiyaç duyan görevin işlem süresi de b kadar tekrar eder. Bu durum Eş. 4.13 ve Eş. 4.14 ile sağlanır. Böylece Eş. 4.23’deki istasyon sayısı alt sınır hesaplaması Eş. 4.25 şeklinde kaynak sayısı alt sınır hesabına dönüştürülür.

Eş. 4.23’de verilen alt sınır istasyon sayısı hesabı kullanılarak geliştirilmiş olan alt sınır Eş. 4.24’de gösterildiği şekildedir.

$$AS_{kyn} = \left\lceil \frac{\sum_{i \in I \wedge b \in B_i} b \cdot T_i}{C} \right\rceil \quad (4.24)$$

Amaç fonksiyonu alt sınır hesabı

Amaç fonksiyonu için geliştirilmiş olan altı sınır Eş. 4.25’de verildiği gibidir. Eş. 4.23 ve Eş. 4.24 ile elde edilen alt sınır değerleri kullanılarak Eş. 4.25 elde edilmektedir. Eş. 4.25’de verilen alt sınır iki amaç fonksiyonu için kullanılan alt sınırların önemli olan amacın baskılanmaması sağlanacak şekilde hesaplanması ile elde edilmiştir. $\frac{1}{(n*b_{max})+1}$ terimi hem normalizasyonu sağlar hem de ikincil amacı baskın olmaktan uzaklaştırır (Tabucanon, 1988).

$$AS_{amaç} = AS_{ist} + \frac{1}{(n*b_{max})+1} \cdot AS_{kyn} \quad (4.25)$$

Çizelge 4.2. Örnek problem verisi

Görev	Görev zamanı	Kaynak tipi				Gerekli kaynak sayısı
i	T _i	A	B	C	D	
1	6	1	0	0	0	1
2	2	1	1	1	0	2
3	5	0	0	1	0	1
4	7	0	0	0	0	0
5	1	0	1	1	0	2
6	2	0	0	1	1	1
7	3	0	0	0	0	0
8	6	0	1	1	1	3
9	5	1	1	1	1	1
10	5	1	1	1	1	4
11	4	0	0	0	0	0

Eş. 4.23, Eş.4.24 ve Eş. 4.25’de verilen alt sınır hesapları için örnek durum aşağıda verilmektedir. Bu problem için geliştirilen alt sınırlar aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. Çizelge 4.2’de görevler için hangi tip kaynakların kullanılabileceği ve bu kaynaklardan aynı anda kaç adet gerekli olduğu bilgisi verilmektedir. Kaynak tip değeri bir olan görev o kaynağın kullanılabileceğini gösterirken sıfır olanlar ise kaynağın kullanılamayacağını göstermektedir. Gerekli kaynak sayısı da aynı anda ihtiyaç duyulan kaynak sayısını ifade etmektedir.

Gerekli alt sınır istasyon sayısı hesabı şu şekildedir:

$$AS_{ist} = \left\lceil \frac{\sum_{i \in I} T_i}{C} \right\rceil = \left\lceil \frac{46}{7} \right\rceil = [6,57] = 7$$

Gerekli alt sınır kaynak sayısı hesabı şu şekildedir:

$$AS_{kyn} = AS_{kyn} = \left\lceil \frac{\sum_{i \in I \wedge b \in B_i} b \cdot T_i}{C} \right\rceil = \left\lceil \frac{1*(6+5+2+5)+2*(2+1)+3*(6)+4*(5)}{7} \right\rceil = \left\lceil \frac{62}{7} \right\rceil = [8,86] = 9$$

Gerekli alt sınır amaç fonksiyon hesabı şu şekildedir:

$$AS_{amaç} = AS_{ist} + \frac{1}{(n*b_{max})+1} \cdot AS_{kyn} = 7 + \frac{1}{(11*4)+1} \cdot 9 = 7,20$$

Elde edilen sonuçlara göre örnek problem için gerekli alt sınır istasyon sayısı 7, toplam kaynak sayısı 9 ve amaç fonksiyonu için 7,20 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen matematiksel model ve önerilen tavlama benzetimi algoritması için kullanılacak olan amaç fonksiyonu hesabı Eş. 4.25’de verilen denklem ile hesaplanacaktır.

5. ÖNERİLEN TAVLAMA BENZETİMİ ALGORİTMASI

NP-Zor problemler için matematiksel modeller ile uygun bir çözüme her zaman ulaşılamamaktadır. MHD problemi de Alveres ve Pereira'nın (2019) belirttiği üzere NP-zor bir problemdir. Matematiksel model ile küçük ve orta boyutlu problemler için sonuçlar bulunmuş olsa da büyük ve bazı orta boyutlu problem için makul sürelerde herhangi bir sonuca ulaşılamamaktadır. Bu çalışmada 45 göreve kadar olan MHD problemleri için uygun çözümlere ulaşılabilmektedir. Bu sebeple daha büyük görev sayısına sahip olan test problemleri için Tavlama Benzetimi (TB) algoritmasına başvurulmuştur. Literatürde MHD problemleri için performans açısından iyi sonuçlar vermiş olan Tavlama Benzetimi algoritması uygulanmıştır (Suresh ve Sahu, 1994; McMullen ve Frazier, 1998; Baykasoğlu, 2006; Özcan, 2010; Seyed-Alagheband, Ghomi ve Zandieh, 2011; Roshani ve diğerleri, 2012; Manavizadeh, Hosseini, Rabbani ve Jolai, 2013).

5.1. Önerilen Algoritma

Tavlama Benzetimi algoritması ilk defa Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi (1983) tarafından önerilmiştir. Bu algorithmada katıların soğutma stratejisinden esinlenilmiştir. Katıların belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp belirli oranda yavaş yavaş soğutularak daha iyi bir kristal yapıya ulaşması amaçlanır. Katıların belirli bir hızla soğutularak daha sağlam bir kristal yapıya sahip olması gibi çözümler adım adım gelişerek iyi çözümlere doğru hareket etmektedir. Aynı şekilde optimizasyon problemleri için de başlangıçta bir çözüm ile başlayıp en iyi çözüme ulaşmak amaçlanmaktadır (Kirkpatrick ve diğerleri, 1983). Tavlama süreci ile en iyileme süreci arasındaki ilişki Çizelge 5.1'de gösterilmektedir (Talbi, 2009; Karaboğa, 2011).

Tavlama benzetimi başlangıçta kötü çözümleri kabul etme olasılığı yüksek, sonlara doğru kötü çözümleri kabul etme olasılığı düşük olasılıkla çalışmaktadır. Tavlama benzetiminde çözüm sayısı aranırken; (1) az sayıda sıcaklık seviyesinde büyük sayıda çözüm noktası aramak (2) çok sayıda sıcaklık seviyesinde az sayıda çözüm noktası arama yapılabilir. Sıcaklık soğutma için geliştirilmiş olan logaritmik fonksiyon ve üstel fonksiyon gibi yöntemler mevcuttur. TB için durdurma koşulu olarak iterasyon sayısı, zaman, bulunan iyi çözümün belirli iterasyon boyunca iyileşme göstermemesi, sıcaklığın belirli bir değerin

altına düşmesi gibi durumlar kullanılmaktadır (Kirkpatrick ve diğerleri, 1983). Önerilen tavlama benzetimi algoritması pseudo kodu Çizelge 5.2’ de verildiği şekildedir.

Çizelge 5.1. Tavlama süreci ve en iyileme probleminin özellikleri

Fiziksel Sistem	En İyileme Problemi
Sistem durumu	Çözüm
Moleküllerin pozisyonları	Karar değişkenlerini
Enerji	Amaç fonksiyonunu
Temel/ideal durum	En iyi çözümü
Yarı kararlı durum	Yerel iyi çözümü
Hızlı soğuma	Yerel aramayı
Sıcaklık	T_0 kontrol parametresi
Dikkatli soğutma	Tavlama benzetimi

```

TB parametrelerini gir ( $T_0$ ,  $T_{min}$  ve  $\alpha$ )
 $S_0$  başlangıç çözümünü üret ve  $f_0$  hesapla ();
 $T=T_0$ ,  $S_c=S_0$ ,  $S_b=S_0$ ,  $f_c=f_0$ ,  $f_b=f_0$ , iter=1;
while ( $T>T_{min}$ )
{
    Until (iter  $\leq$  GS)
    {
        u= U [0, 1];
        if (u<0,5)
            yerleştirme ile  $S_c$  den  $S_n$  komşu çözümünü üret
        else
            yer değiştirme ile  $S_c$  den  $S_n$  komşu çözümünü üret

        if ( $f_n \leq f_c$ )
             $S_c \leftarrow S_n$ 
             $f_c \leftarrow f_n$ 

            if ( $f_c < f_b$ )
                 $S_b \leftarrow S_c$ 
                 $f_b \leftarrow f_c$ 

        else
             $\Delta = f_n - f_c$ 
            u= U [0, 1];
            if ( $u \leq e^{-\Delta/T}$ )
                 $S_c \leftarrow S_n$ 
                 $f_c \leftarrow f_n$ 

        iter=iter+1;
    }
    T= T  $\cdot$   $\alpha$ ;
}
return  $S_b$ ,  $f_b$ ;

```

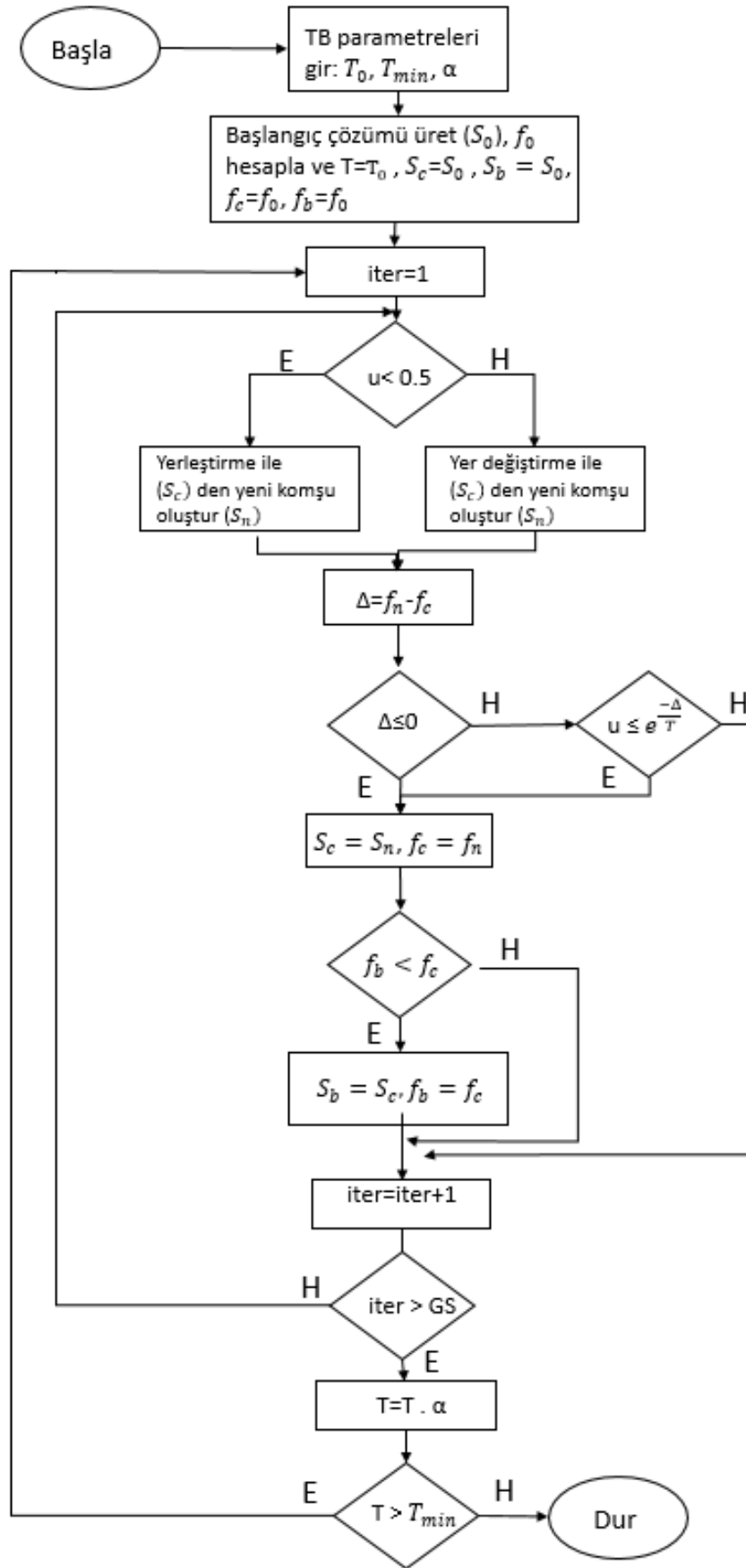
Şekil 5.1. Önerilen TB pseudo kodu

Şekil 5.1’de önerilen tavlama benzetim algoritması adımları verilmektedir. Önerilen tavlama benzetimi akış şeması Şekil 5.2’de gösterildiği gibidir. Her bir sıcaklık değerinde (T), görev sayısı (GS) kadar komşu aranmaktadır. Rassal olarak oluşturulmuş olan bir başlangıç çözümünden (S_0) başlanır. Yeni komşu çözümler (S_n) oluşturulurken iki farklı yapı kullanılmaktadır. Düzgün dağılım $[0, 1]$ arasında üretilen bir rassal sayı u değeri $0,5$ ’den küçük ise yerleştirme komşuluk yapısı, büyükse yer değiştirme komşuluk yapısı kullanılmaktadır. Mevcut çözümden daha iyi bir çözüm elde edildi ise mevcut çözüm de güncellenir ($f_c=f_n$). Değilse düzgün dağılım $[0-1]$ arası üretilecek olan u rassal sayısı $e^{-\Delta/T}$ değerinden küçükse mevcut çözüm yine güncelleme ($f_c=f_n$) yapılır. Başka bir ifadeyle daha kötü bir çözüm kabul edilir ve bu çözüm üzerinden aramaya devam edilir. Aksi durumda komşu çözüm reddedilir. Durdurma kriteri olan $T < T_{min}$ şartı sağlanınca algoritma sonlandırılır. Algoritma sonlandırılınca en iyi çözüm f_b raporlanır.

Geliştirilen algoritma için kullanılan başlangıç çözümü, komşuluk üretim mekanizmaları, amaç fonksiyonu değeri hesaplanması, sıcaklık güncelleme prosedürü ve durdurma kriteri aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

Başlangıç çözümü

İstasyon ataması için başlangıç çözümü oluşturulurken ağırlık yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde görevlere, başlangıçta bir ile görev sayısı (GS) arasında rassal olarak atama yapılmaktadır. Bu ağırlık değerleri (w_i) aday görevler kümesine giren görevler arasında seçim gerektiği zaman ağırlık değeri büyük olanın seçilerek öncelik verilmesini sağlamaktadır. Bu süreç tüm görevlerin ataması bitinceye kadar devam edilir. İlk olarak hemen öncülü olmayan ($P_i = \{ \}$) görevler aday listeye (Θ) kaydedilir. Aday listesindeki görevlerden ağırlığı en büyük değere sahip olan görev (w_i) ilk istasyona atanır. Seçilen görev atama listesine (AKK_i) eklenir ve aday listeden çıkartılır. İstasyona atanan görevlerin işlem zamanı toplamı çevrim süresinden küçük ise bu istasyondan devam edilir. Aksi halde istasyon sayısı bir artırılarak devam edilir. Ataması yapılan görev için öncelik ilişkileri güncellenir ve yeniden aday liste oluşturulur. Aday liste boş küme ($\Theta \in \{ \}$) oluncaya kadar bu prosedüre devam edilir. Tüm görevler atama listesine eklendiği zaman mevcut istasyon sayısı ve atama listesi raporlanır.



Şekil 5.2. Önerilen TB akış şeması

Komşuluk üretim mekanizması

Yeni bir komşu çözüme geçiş iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Yer değiştirme (swap) veya yerleştirme (insert) mekanizmalarından birisi %50 olasılık ile seçilir. Yer değiştirme mekanizması için; iki adet görev rassal olarak seçilir. Bu iki görevin ağırlık değerleri yer değiştirilir. Elde edilen alternatif çözüm için çözüm kurucu algoritma kullanılarak çözüm değerlendirilir. Yerleştirme mekanizması için; bir adet görev seçilir ve rassal seçilen bir noktaya ağırlık değeri yerleştirilir. Yerleştirilen noktadan sonra yer alan görevlerin ağırlık (öncelik) değerleri de kaydırılarak yeni komşu çözüm elde edilmiş olur. Aynı şekilde çözüm kurucu sezgisel ile çözüm değerlendirilir.

Yer değiştirme komşuluk yapısı: Rassal olarak üretilen iki sayı, iki ve beş olsun. w_i i görevinin ağırlık değerini göstermektedir. İki numaralı görevin ağırlık değeri (w_2) ile beş numaralı görevin ağırlık değerleri (w_5) yer değiştirilerek yeni komşu çözüm oluşturulmuştur.

Mevcut çözüm

i	1	2	3	4	5	6
w_i	3	2	4	1	6	5

Komşu çözüm

i	1	2	3	4	5	6
w_i	3	6	4	1	2	5

Şekil 5.3. Yer değiştirme komşuluk mekanizması

Yerleştirme komşuluk yapısı: Rassal olarak üretilen iki sayı, üç ve beş olsun. Beş numaralı görevin ağırlık değeri (w_5) üç numaralı görevin ağırlık değeri (w_3) olarak değiştirilir. 3'üncü (w_3) ve 4'üncü (w_4) görevlerin ağırlık değerleri sağa doğru kaydırılarak yeni komşu çözüm elde edilmiş olur.

Mevcut çözüm

i	1	2	3	4	5	6
w_i	3	2	4	1	6	5

Komşu çözüm

i	1	2	3	4	5	6
w_i	3	2	6	4	1	5

Şekil 5.4. Yerleştirme komşuluk mekanizması

Amaç fonksiyonu

Çözümlerin amaç fonksiyonu değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır. Amaç fonksiyonu değeri açılan istasyon sayısı ile kullanılan kaynak sayısına göre değer almaktadır. Kaynak sayısı ikincil derecede bir amaç olduğu için Eş. 5.1’de verildiği gibi belirli bir ağırlık ile amaç fonksiyonuna katkı sağlamaktadır. Kullanılan kaynak sayısı istasyon sayısını baskılamayacak şekilde belirli bir ağırlık oranında amaç fonksiyonuna katkı sağlamaktadır. Ağırlık değeri (ϵ) hesabı için görev sayısı (n) ile aynı anda kullanılabilecek en fazla kaynak sayısı (b_{max}) ile çarpılır ve bir eklenir.

$$\text{Amaç} = \text{Açılan istasyon sayısı} + \frac{1}{(n \cdot b_{max}) + 1} \cdot \text{Kullanılan kaynak sayısı} \quad (5.1)$$

Durdurma kriteri

Sıcaklık değeri T , belirli bir T_{min} değerinin altına düştüğü zaman arama sürecine son verilir. Bitiş sıcaklığı için uygun değer parametre optimizasyonu sonucu belirlenmiştir.

Sıcaklık güncelleme

Her bir adımda sıcaklık değeri Eş. 5.2’de verilen formül dikkate alınarak güncellenir. α değeri (0, 1) arasında bir değer almaktadır.

$$T = T \cdot \alpha \quad (5.2)$$

Görev ve kaynak atama prosedürü

Görev ve kaynak atama prosedürü Çizelge 5.3’de detaylı bir şekilde verilmektedir. İlk olarak görevlerin atama işlemleri gerçekleştirilmekte ve daha sonra da kaynak atama işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Adım 0: Başlangıç parametrelerini gir (T_i , $P(i)$, GS , GKS_i , AKK_{ik} , C)

Adım 1: Görev atama prosedürüne başla.

```

|
  for (i=1 to GS)
    {
       $u_1 = U[1, GS]$ ;
       $\varphi_i = u_1$ ;
    }

```

Adım 2: $j=1$;

Adım 3: $\Theta = \{\forall i, h \in I | h \in P_i\}$

```

    if ( $\Theta = \{ \}$ )
    {
        Adım 6'ya git;
    }

```

Adım 4: Θ listesindeki görevleri φ_i değerlerine göre azalan şekilde sırala

Adım 5: if ($\sum_{i|i \in AS_j} T_i \leq C$)

```

    {
         $AS_j = i$ ;           'i görevini j istasyonuna ata
        Boş zamanı hesapla,  $idletime_j$ 
        Adım 3'e git.
    }

```

```

    else {
         $j=j+1$ ;
        Adım 3'e git;
    }

```

Adım 6: Kaynak atama prosedürüne başla.

```

     $j=1$ ;
    for ( $i|i \in AS_j$ )
    {
        while ( $GKS_i < AKS_i$ )
        {
             $u_2 = U[1, 4]$ ;
             $k = u_2$ ;

            if( $AKK_{ik} \in MAK_j$ )
            {
                 $ST_{kj}$  ve  $FT_{kj}$  hesapla;
            }
            else if ( $AKK_{ik}=1$ )
            {
                 $MAK_j=k$ ;
                 $ST_{kj}$  ve  $FT_{kj}$  hesapla;
            }
        }
    }
}

```

Şekil 5.5. Önerilen çözüm kurucu sezgisel pseudo kodu

```

Adım 7: j=j+1;

Adım 8: for(i|i∈ASj)
{
    u3 = U[1, 4];
    k=u3;

    if (AKKik ∈ MAKj-1)
    {
        for ( idle=0 to idletimej)
        {
            if ((STkj ≤ STi ∧ FTkj > STi) veya (STkj > STi ∧
                STkj < FTi) veya (FTkj > STi ∧ FTkj ≤ FTi))
            {
                MAKj = k;
                STkj ve FTkj hesapla;
            }

            else
            {
                STkj ve FTkj hesapla;
            }
        }
    }
}

if ( ASj = { } )
{
    Adım 9' e git;
}

else
{
    Adım 7' e git;
}

```

Adım 9: Dur.

Şekil 5.5 (devam) Önerilen çözüm kurucu sezgisel pseudo kodu

Verilen çözüm kurucu sezgiselinin açıklaması şu şekildedir.

Adım 1: Her bir görev için 1-GS arasında Düzgün dağılım kullanılarak rassal sayı üretilir.

$\varphi_i \in [1, GS], \forall i \in I, \varphi_i \neq \varphi_h, \forall i, h \in I$

Adım 2: 1'inci istasyonu açılır. j=1

Adım 3: Atanabilir görevler kümesi Θ 'yı belirlenir. ($\Theta = \{\forall i, h \in I | h \in P_i\}$). Eğer $\Theta = \{ \}$ ise

Adım 6'ya gidilir.

Adım 4: Θ listesindeki görevleri ağırlık değerlerine göre azalan şekilde sıralanır.

Adım 5: Θ listesinde yer alan ilk görev için çevrim süresi kontrolü yapılır. Aşmıyor ise görevi istasyona ata. AS_j listesine görevi eklenir. Aksi halde yeni istasyon aç ($j=j+1$) ve görevi atanır. Adım 3'e gidilir.

Adım 6: 1'inci istasyonun ilk görevinden başlayarak kaynak atama prosedürüne başlanır. $j=1$ AS_j listesindeki ilk görevden başlanır. AKK_i ve GKS_i 'yi belirlenir. Bu istasyondaki tüm görevlere kaynak ataması yapıldı ise Adım 6'ya git. AKK_i 'daki kaynak tiplerini GKS_i 'deki kadar rassal olarak atanır. ST_{kj} ve FT_{kj} 'yi hesapla ve atanan kaynağı MAK listesine ekle. AS_j 'de bulunan sıradaki göreve geçilir. AKK_i ve GKS_i 'yi belirlenir. İstasyondaki tüm görevler için kaynak ataması yapıldı ise Adım 7'e gidilir.

Adım 7: İstasyon sayısını 1 artırılır.

Adım 8: $AKK_i \in MAK_j$ ise GKS_i kadar atama yapılır. Eğer yeterli sayıda atama yapılmadı ise rassal olarak kaynak atama yapılır. ST_{kj} ve FT_{kj} 'yi hesapla ve atanan kaynağı MAK_j listesine ekle. $j=j+1$ yap. AS_j listesindeki sıradaki görev için AKK_i ve GKS_i 'yi belirlenir. $AKK_i \in MAK_{j-1}$ ve $((ST_{kj} \leq ST_i \wedge FT_{kj} > ST_i) \text{ veya } (ST_{kj} > ST_i \wedge ST_{kj} < FT_i) \text{ veya } (FT_{kj} > ST_i \wedge FT_{kj} \leq FT_i))$ değil ise kaynak paylaşımına izin verilir. Şart sağlanıyor ise ve mevcut istasyonda boş zaman varsa mevcut görevi bir birim ötele (bunu 1'den başlayarak boş zaman süresine kadar artırarak tekrarla) ve uygunluk kontrolü yap uygunsa kaynak paylaşımına izin verilir. Değilse yeni kaynak ataması yap. ST_{kj} ve FT_{kj} 'yi hesapla ve atanan kaynağı MAK_j listesine eklenir. Eğer tüm görevler için kaynak atandı ise Adım 9'a git değilse Adım 7' dönülür.

Adım 9: Çözüm kurucu algoritma sonlandırılır.

Şekil 5.5'de verildiği üzere görevler atanırken her bir görev için atanan rassal ağırlık değerleri sayesinde aday işlerden seçim gerçekleştirilmektedir. Görevler için atama listesi elde edildikten sonra; 1'inci istasyonda yer alan ilk sıradaki görevden başlanarak kaynak atama prosedürü gerçekleştirilir. Önerilen çözüm kurucu algoritmanın adımları aşağıdaki şekildedir. Şekil 5.5'de önerilen algoritmada, ilk beş adım görevlerin istasyonlara atanma sürecini sağlamaktadır. Görev süresi (T_i), öncelik ilişkileri (P_i), atanabilir kaynak kümesi

(Θ) ve her bir görev için gerekli kaynak sayısını (GKS_i) verileri alınır. Her bir görev için 1'den görev sayısına kadar rassal olarak ağırlık değeri atanır ve her adımda atanabilir görev kümesi oluşturularak en büyük ağırlık değerine sahip görev seçilerek atama işlemi yapılır ve çevrim süresi kısıtı kontrol edilir. Çevrim süresi aşıldı ise yeni istasyon açılarak ($j=j+1$) devam edilir. Görev ataması yapıldıktan sonra öncelik ilişkileri güncellendikten sonra yeniden atanabilir kaynak kümesi (AKK) oluşturularak atama prosedürüne devam edilir. Tüm görevlerin ataması yapıldıktan sonra bir başka ifadeyle Θ kümesi boş küme olduğu zaman ($\Theta = \{ \}$) Adım 6'ya geçilir. Adım 6, 1'inci istasyonda bulunan görevlerin kaynak ataması için uygulanmaktadır. İlk görev için gerekli kaynak sayısı (GKS_i) kadar kaynak ataması gerçekleştirilir ve bu kaynaklar mevcut atanan kaynak (MAK_j) listesine eklenir. Bu istasyonda ikinci bir görev var ise ilk olarak MAK_j listesinde yer alan kaynaklar ile ortak kaynağı söz konusu ise bu atama yapılır. GKS_i 'ye ulaşamadı ise kaynak atamaya rassal olarak devam edilir. İlk istasyondaki tüm görevlere kaynak ataması yapıldıktan sonra Adım 7'e geçilir.

Yeni görevler için kaynak ataması yapılırken bir önceki istasyonda kullanılmış olan kaynakların uygunluk durumu kontrol edilir. Bu durum ikinci istasyon ve sonraki istasyonlar için söz konusudur. Eğer kaynak uygun ise kaynak paylaşımına izin verilir değilse yeni kaynak atanır. Uygunluk durumu şu şekilde kontrol edilir: Eğer mevcut görev için gerekli olan kaynak bir önceki $MAK_{(j-1)}$ listesi elemanı ise ve atanacak görevin başlangıç zamanı kaynağın bitiş zamanından küçük ve görevin bitiş zamanı çevrim süresinden önce bitiyor ise veya kaynağın başlangıç zamanı görevin bitiş zamanından küçük eşit ise kaynak uygundur. Eğer uygun değilse ve mevcut istasyonda boş zaman var ise görev bir birim sağa kaydırılır ve kaynak paylaşım durumu tekrar kontrol edilir. Eğer uygun değilse boş zaman süresine kadar birer birer sağa kaydırılarak kaynak uygunluğu kontrol edilir. Eğer kaynak paylaşımı mümkün değilse yeni kaynak ataması gerçekleştirilir. Görev için gerekli sayıda kaynak (GKS_i) atanınca diğer göreve geçilir. Adım 7 ve Adım 8 tüm görevler için tekrarlanır. Tüm görevler için kaynak ataması gerçekleştirildiği zaman kaynak atama prosedürüne son verilir.

Çizelge 5.2'de bilgileri verilen örnek problem için uygun bir çözüm aşağıdaki şekildeki gibi oluşturulmaktadır. Altı görevden oluşan bu örnek problem için görevlerin hemen öncülü olan görevler ve her bir görev için gerekli kaynak tipleri verilmektedir. Örneğin, 1 numaralı görevin herhangi bir öncül görevi söz konusu değil iken bu görevin gerçekleştirilebilmesi için A tipi kaynak kullanılmaktadır. Aynı şekilde 2'inci görev için 2 birimlik işlem zamanı

gerekli iken bu görevin işlemine 1 numaralı görevin işlemi tamamlanmadan başlanamaz. Bu görev için aynı anda hem A hem de B tipi kaynak gerekmektedir.

Çizelge 5.2. Başlangıç çözümü için örnek problem verileri

i	T_i	Hemen öncüller	Kaynak gereksinim
1	2	-	A
2	2	1	$A \wedge B$
3	2	1	B
4	2	2, 3	$A \vee B$
5	3	4	B
6	1	4	$C \vee D$

Bir örnek çözümün oluşturulması Şekil 5.6'da verildiği gibidir.

Adım 1	i	1	2	3	4	5	6
	w_i	3	2	4	1	6	5
Adım 2	$j=1$						
Adım 3	$\Theta=\{1\}$						
Adım 4	$\Theta=\{1\}$						
Adım 5	1 numaralı görevi seç. $T_1 \leq C$? $2 \leq 5$ ve $AS_1=\{1\}$. Adım 3' git.						
Adım 3	$\Theta=\{2, 3\}$						
Adım 4	$\Theta=\{3, 2\}$						
Adım 5	3 numaralı görevi seç. $T_1+T_2 \leq C$? $2+2 \leq 5$ ve $AS_1=\{1, 3\}$. Adım 3' git.						
Adım 3	$\Theta=\{2\}$						
Adım 4	$\Theta=\{2\}$						
Adım 5	2 numaralı görevi seç. $T_1+T_3+T_2 \leq C$? $2+2+2 > 5$ ve $AS_2=\{2\}$. Adım 3' git.						
Adım 3	$\Theta=\{4\}$						
Adım 4	$\Theta=\{4\}$						
Adım 5	4 numaralı görevi seç. $T_2+T_4 \leq C$? $2+2 \leq 5$ ve $AS_2=\{2, 4\}$. Adım 3' git.						
Adım 3	$\Theta=\{5, 6\}$						
Adım 4	$\Theta=\{5, 6\}$						
Adım 5	5 numaralı görevi seç. $T_2+T_4+T_5 \leq C$? $2+2+3 > 5$ ve $AS_3=\{5\}$. Adım 3' git.						
Adım 3	$\Theta=\{6\}$						

Şekil 5.6. Örnek problem için çözüm adımları

Adım 4	$\Theta=\{6\}$
Adım 5	6 numaralı görevi seç. $T_5+T_6 \leq C ? 3 + 1 \leq 5$ ve $AS_3=\{5, 6\}$. Adım 3'ü git.
Adım 3	$\Theta=\{ \}$
Adım 6	$j=1$ $i=1$, $AKK_1=\{A\}$, $AKS_1=1$ ve $GKS_1=1$ 1'inci göreve A kaynağını ata. $MAK_1=\{A\}$
İst 1	
i A1	
İst 1	1 0 2
$j=3$, $AKK_3=\{B\}$, $AKS_3=1$ ve $GKS_3=1$ $AKK_3 \notin MAK_1$ elemanı olmadığından 3'üncü göreve B kaynağını ata. $MAK_1=\{A, B\}$	
İst 1	
i A1 B1	
İst 1	1 0 2 - -
	3 - - 2 4
Adım 7	$j=2$
Adım 8	$j=2$ ve $i=2$ $AKK_2=\{A, B\}$, $AKS_2=2$ ve $GKS_2=2$ $AKK_2 \in MAK_1$ ve $((ST_{kj} \leq ST_i \wedge FT_{kj} > ST_i)$ veya $(ST_{kj} > ST_i \wedge ST_{kj} < FT_i)$ veya $(FT_{kj} > ST_i \wedge FT_{kj} \leq FT_i)) ?$ $(2 > 0 \wedge 2 \leq 2)$ olduğundan kaynak paylaşılamaz, boş zamanı kontrol et. Boş zaman = 1 olduğundan görevi bir birim kaydır ve tekrar kaynak ataması kontrolü yap. $(2 < 1 \wedge 2 \leq 3)$ olduğundan kaynak paylaşılamaz, boş zamanı kontrol et. Boş zaman=0 olduğundan paylaşım mümkün değil yeni bir A tipi kaynak ata. $MAK_2=\{A\}$. $(2 < 0 \wedge 4 > 0)$ veya $(2 > 0 \wedge 2 < 2)$ veya $(4 > 0 \wedge 4 \leq 2)$ olduğundan B tipi kaynağı paylaş.
İst 1 İst 2	
i A1 B1 A2	
İst 1	1 0 2 - - - -
	3 - - 2 4 - -
İst 2	2 - - 0 2 0 2

Şekil 5.6. (devam) Örnek problem için çözüm adımları

$i=4$, $AKK_4=\{A, B\}$, $AKS_4=2$ ve $GKS_4=1$
 $AKK_4 \in MAK_1$ ve $((ST_{kj} \leq ST_i \wedge FT_{kj} > ST_i)$ veya $(ST_{kj} > ST_i \wedge$
 $ST_{kj} < FT_i)$ veya $(FT_{kj} > ST_i \wedge FT_{kj} \leq FT_i))$?
 $(0 < 2 \wedge 2 < 2)$ veya $(0 > 2 \wedge 0 < 4)$ veya $(2 > 2 \wedge 2 \leq 4)$ olduğundan
 kaynağı paylaş.

		İst 1		İst 2			
	i	A1	B1	A2			
İst 1	1	0	2	-	-	-	-
	3	-	-	2	4	-	-
İst 2	2	-	-	0	2	0	2
	4	2	4	-	-	-	-

Adım 7 $j=3$

Adım 8 $i=5$, $AKK_5=\{B\}$, $AKS_5=1$ ve $GKS_5=1$

$AKK_5 \notin MAK_2$ elemanı olmadığı için yeni kaynak ata. $MAK_3=\{B\}$

$AKK_5 \notin MAK_2$ elemanı olmadığı için yeni kaynak ata. $MAK_3=\{B\}$

		İst 1		İst 2		İst 3			
		A1	B1	A2	B2				
İst 1	1	0	2	-	-	-	-	x	x
	3	-	-	2	4	-	-	x	x
İst 2	2	-	-	0	2	0	2	-	-
	4	2	4	-	-	-	-	-	-
İst 3	5	x	x	x	x	-	-	0	3

Bu aşamada sıradaki görev için uygun tipteki kaynak seçildikten sonra kaynak çizelgesi yukarıdaki tabloya kaydedilir. Bu tablo sayesinde kaynak paylaşımı durumları için gerekli olan kaynak kullanım süreleri tutulmaktadır. Yukarıda verilen tabloda İstasyon 1’de A1 kaynağı 0-2 zaman aralığında 1’inci görev için kullanılmıştır ve diğer zaman dilimlerinde kullanılmadığı için “-” işareti ile kullanılmadığı gösterilmektedir. A1 ve B1 kaynakları 1’inci istasyonda kullanıldığı için 3’üncü istasyonda kullanılamayacağından dolayı ilgili hücreler “x” işareti kullanılarak kapatılmaktadır. B1 kaynağı hem 1’inci istasyonda üç numaralı görev için 2-4 zaman diliminde hem de 2’inci istasyonda iki numaralı görev için 0-2 zaman diliminde kullanılmaktadır. A2 kaynağı da İstasyon 2’de 0-2 zaman aralığında sadece iki numaralı görev için kullanılmıştır.

Şekil 5.6. (devam) Örnek problem için çözüm adımları

i=6, AKK ₆ = {C, D}, AKS ₆ =2 ve GKS ₅ = 1										
AKK ₆ ∉ MAK ₂ elemanı olmadığından yeni bir kaynak ata. MAK ₃ = {D}										
		İst 1		İst 2		İst 3				
	i	A1	B1	A2	B2	D1				
İst 1	1	0	2	-	-	-	-	x	x	x
	3	-	-	2	4	-	-	x	x	x
İst 2	2	-	-	0	2	0	2	-	-	-
	4	2	4	-	-	-	-	-	-	-
İst 3	5	x	x	x	x	-	-	0	3	-
	6	x	x	x	x	-	-	-	3	4

Adım 9 Tüm görevler için kaynaklar atandı. Dur.

Başlangıç çözümü için elde edilen istasyon ve kaynak atamaları						
j	1		2		3	
i	1	3	2	4	5	6
k	{A1}	{B1}	{A2, B1}	{A1}	{B2}	{D1}

Şekil 5.6. (devam) Örnek problem için çözüm adımları

Yukarıda verilen örnek problem için Adım 6'ya kadar görevlerin istasyonlara atanma aşamasıdır. Görevler öncelik ilişkileri dikkate alınarak çevrim süresini aşmayacak şekilde görevlerin ağırlık değerleri dikkate alınarak istasyonlara atanması sağlanmaktadır. Tüm görevler atandıktan sonra Adım 6 ile ilk istasyona atanan görevler için kaynak atama işlemleri başlamaktadır. Tüm görevler için kaynak atama işlemi gerçekleştirildikten sonra çözüm kurucu algoritma sonlandırılır.

Ele alınan örnek problem için başlangıç çözümü olarak 3 istasyon elde edilmiştir. 1 ve 3 numaralı görevler 1'inci istasyona, 2 ve 4 numaralı görevler 2'inci istasyona, 5 ve 6 numaralı görevler ise 3'üncü istasyona atanmıştır. 1'inci istasyonda A1 ve B1 kaynakları, 2'inci istasyonda A1, A2 ve B1 kaynakları, 3'üncü istasyonda ise B2 ve D1 kaynakları kullanılmıştır.

5.2. Parametre Optimizasyonu

Önerilen tavlama benzetimi algoritması için başlangıç sıcaklığı, durdurma kriteri ve sıcaklık azaltma oranı değerleri için parametre optimizasyonu yapılmıştır. Küçük boyutlu Mitchell 21 görevli ve Roszieg 25 görevli, orta boyutlu Guhnter 35 görevli ve Kilbridge 45 görevli, büyük boyutlu Tonge 70 görevli ve Arcus 83 görevli problemler dikkate alınmıştır. Çizelge 5.3’de önerilen tavlama benzetimi algoritması için kullanılan parametre değerleri verilmektedir. Üçer farklı başlangıç sıcaklık değeri, bitiş sıcaklık değeri ve sıcaklık azaltma oranı için parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.3. Parametre optimizasyonu için kullanılan değerler

T_0	1000	5000	9000
T_{min}	0,001	0,01	0,1
α	0,90	0,95	0,99

Her bir test problemi için 10’ar adet koşum yapılmıştır. Önerilen algoritmanın her bir sıcaklık seviyesinde görev sayısı kadar iterasyonda komşu araması yapılmıştır. Seçilen her bir test problemi için üç farklı başlangıç sıcaklığında, üç farklı bitiş sıcaklığı ve üç farklı seviyede sıcaklık düşürme oranı için toplam 270’şer sonuç elde edilmiş olup toplamda 1620 sonuç dikkate alınmıştır. Çizelge 5.4’de parametre optimizasyonu için seçilmiş olan test problemleri ve bu test problemleri için seçilen çevrim süreleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. Parametre optimizasyonu için kullanılan test problem değerleri

Problem	n	C
Mitchell	21	21
Roszieg	25	16
Guhnter	35	41
Kilbridge	45	110
Tonge	70	160
Arcus2	83	4732

Her bir grupta verilerin normal dağıldığı ve varyansların eşit olduğu varsayılmıştır. Elde edilen sonuçlar SPSS 20 programı yardımıyla test edilmiştir. Veriler %95 güven düzeyinde değerlendirilmiştir. İstatistiksel analiz için Varyans analizi (ANOVA) ve gruplandırmalar için Duncan testi kullanılmıştır. Kaynak sayısındaki değişim için elde edilen sonuçlara göre

0,90 soğutma katsayısının seçilmesinin daha anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. 0,90 değeri 0,95 ve 0,99 değerlerinden ayrı bir grupta yer almaktadır.

Önerilen algoritma istatistiksel olarak çalışma zamanları değerleri açısından başlangıç sıcaklık değerleri için 0,95 güven düzeyinde anlamlı bir fark söz konusu değildir. Başlangıç sıcaklık değeri 1000'in seçilmesinin daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bu değer 5000 ve 9000 değerlerinden ayrı bir grupta yer almaktadır.

Bitiş sıcaklığı için 0,05 hata seviyesinde istatistiksel olarak 0,1; 0,01; 0,001 değerleri arasında herhangi bir anlamlı fark söz konusu olmadığı için en büyük değer 0,1 seçilmiştir. Elde edilen Duncan testi sonuçları ayrıntılı şekilde Ek-3'te yer almaktadır.

6. SAYISAL SONUÇLAR

Bu bölümde yeni geliştirilen test problemleri için elde edilmiş olan matematiksel model ve önerilen tavlama benzetimi algoritma sonuçları yer almaktadır.

Literatürde MHD ile ilgili yer alan çalışmalarda genellikle daha önce geliştirilmiş olan test problemleri kullanılmaktadır (Mitchell, 1957; Kilbridge ve Wester, 1961; Tonge, 1961; Arcus, 1963; Sawyer, 1970). Literatürde yer alan düz montaj hattı dengeleme problemleri için geliştirilmiş olan test problemlerinin öncelik ilişkileri ve işlem zamanları kullanılmıştır. Bu verilere ek olarak test problemleri için kaynak ihtiyacı durumu için yeni problem setleri rassal olarak üretilmiştir.

Literatürde genellikle iki adet kaynak tipine sahip olduğu varsayımı bulunmaktadır (A ve/veya B) (Ağpak ve Gökçen, 2005). Birkaç çalışmada dört çeşit kaynak tipine kadar kaynak kullanımına izin verilmektedir (A, B, C ve/veya D) (Chen ve diğerleri, 2018). Bu çalışmada da dört adet kaynak tipine kadar kullanımına izin verilmektedir. Dört tip kaynak çeşidinin söz konusu olduğu durum için: herhangi bir kaynağa ihtiyaç duymayan, sadece bir kaynağa ihtiyaç duyan, aynı anda iki, üç ya da dört kaynağa ihtiyaç duyan görevlerin olduğu durumlar dikkate alınmaktadır. Kaynak atama işlemi literatürde yer alan çalışmalarda sadece bir istasyon ile kısıtlanmış iken bu çalışmada ardışık istasyonlarda kaynak kullanımı bir başka ifadeyle kaynak paylaşımı söz konusudur. Bu sebeple görev ve kaynak atama ile birlikte her bir kaynak için çizelgeleme işlemi de gerçekleştirilmektedir.

Üretilen yeni test problemleri için matematiksel model ile 45 göreve kadar sonuçlar elde edilebilmiştir. Sonuçlar alınırken kullanılan bilgisayar 2.5 GHZ / 8 GB Ram özelliklerine sahiptir. Ayrıca CPLEX 12.6 çözücüsü kullanılmıştır. Geliştirilen matematiksel model ile kaynak paylaşımına izin veren ve vermeyen durumlar için sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar geliştirilmiş olan alt sınır ile de karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan problem setlerinin yapısı aşağıda verildiği şekildedir. 14 farklı öncelik ilişki diyagramına sahip test problemi için 10'ar farklı çevrim süresi ve iki ayrı problem seti için toplam 280 adet test problemi ele alınmıştır. Dikkate alınan test problemleri ve çevrim süreleri Çizelge 6.1'de gösterildiği şekildedir. Görevler için

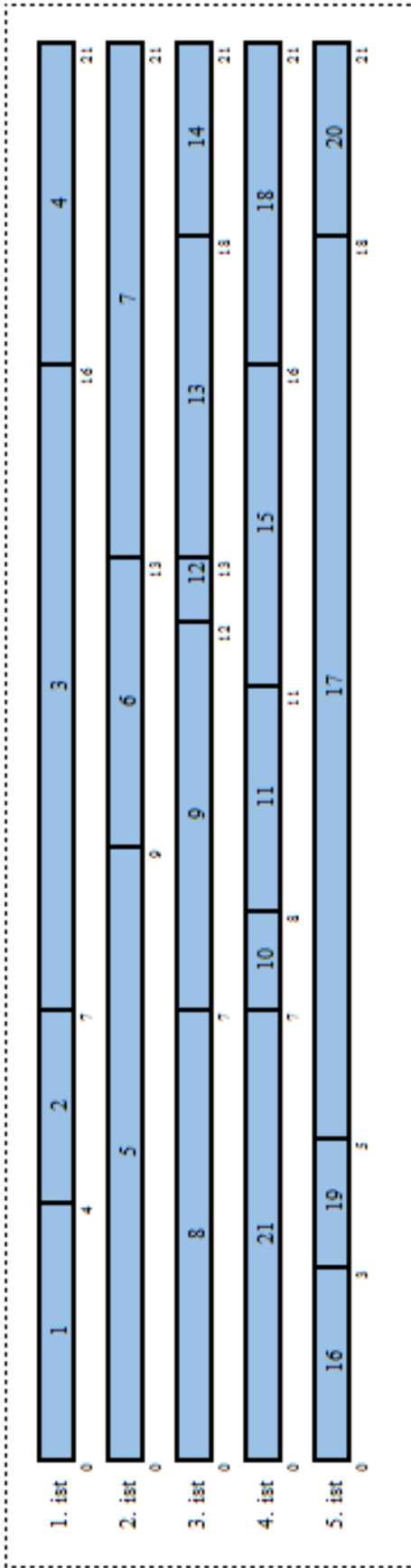
kullanılabilecek alternatif kaynak kullanım durumu ve her bir görev için aynı anda gerekli olan kaynak sayısı rassal olarak üretilmiştir. Kaynak kullanım için 0 ya da 1 değeri üretilerek kaynağın görev için kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmiştir (1 değeri o tipteki kaynakla işlemin gerçekleştirilebileceğini gösterir). Bir görev için aynı anda gerekli olan kaynak sayısı değerleri ise bir görev için 0 ile atanabilecek kaynakların toplamı arasında rassal bir sayı üretilerek elde edilmiştir. Örneğin, A tipi ve D tipi kaynakların atanabileceği {1, 0, 0, 1} bir görev için aynı anda 1 ya da 2 kaynak kullanımı söz konusu olabilir. Üretilmiş olan problem seti-1 Ek-1’de ve problem seti 2 Ek-2’de verilmektedir.

Çizelge 6.1. Kullanılan test problemlerinin yapısı

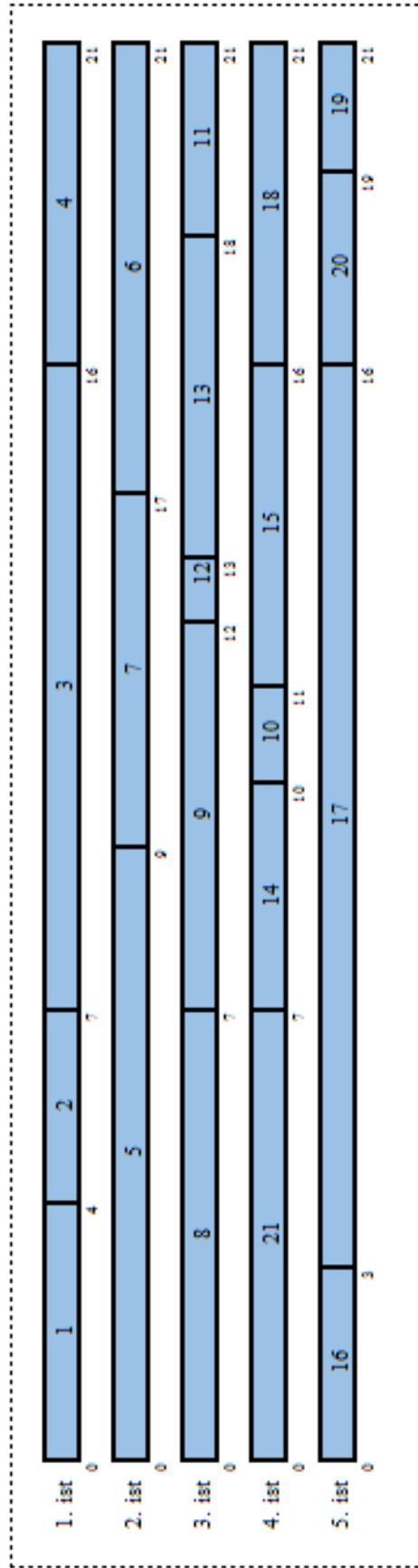
Problem	n	C
Mertens	7	6, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 20, 21
Jackson	11	8, 10, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 23
Mitchell	21	14, 18, 21, 26, 28, 35, 39, 46, 52, 55
Roszieg	25	16, 18, 22, 25, 32, 44, 50, 55, 60, 65
Buxey	29	25, 27, 30, 33, 39, 42, 50, 54, 58, 60
Sawyer	30	25, 30, 36, 41, 47, 50, 55, 65, 70, 72, 82
Guhnter	35	44, 50, 55, 60, 75, 80, 85, 90, 95, 144
Kilbridge	45	56, 62, 80, 90, 112, 124, 138, 150, 184, 220
Hahn	53	1900, 2004, 2338, 2500, 2806, 3000, 3200, 3507, 4676, 5000
Warnacke	58	54, 60, 74, 97, 104, 108, 120, 144, 194, 208
Tonge	70	160, 176, 185, 207, 250, 300, 320, 370, 407, 600
Wee-Mag	75	28, 31, 39, 43, 52, 62, 78, 86, 104, 112
Arcus83	83	3786, 4206, 5048, 6309, 7572, 8412, 9000, 10096, 12618, 18000
Arcus111	111	5755, 6016, 7916, 8500, 10027, 11378, 12032, 15832, 17000, 20054

n=görev sayısı, C=çevrim süresi

Şekil 6.1’de 21 adet göreve sahip Mitchell test problemi çevrim süresi 21 için elde edilen görev atamaları ve en iyi çizelgeler verilmektedir. Her iki çözüm yöntemi için de istasyon sayısı beş iken alternatif çözümler elde edilmiştir. Örneğin ikinci istasyonda matematiksel model ile bulunan sonuçta görevlerin {5, 6, 7} sırası ile işlemi gerçekleştirilirken sezgisel yöntemde {5, 7, 6} şeklindedir. 14 numaralı görev 3’üncü istasyonda son görev iken bir sonraki çözümde ise 4’üncü istasyonda ikinci görev olarak işleme alınmaktadır.

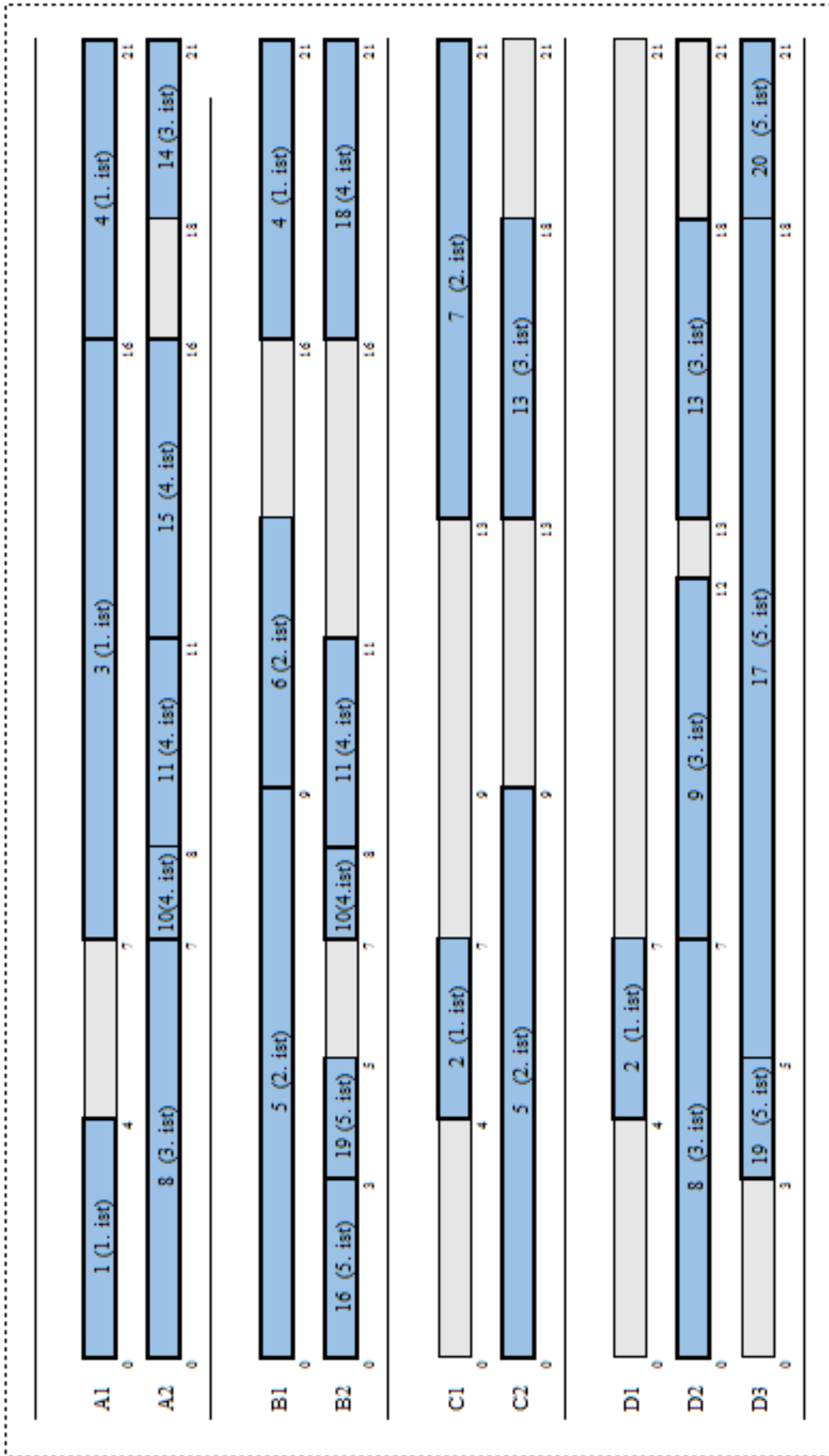


(a)

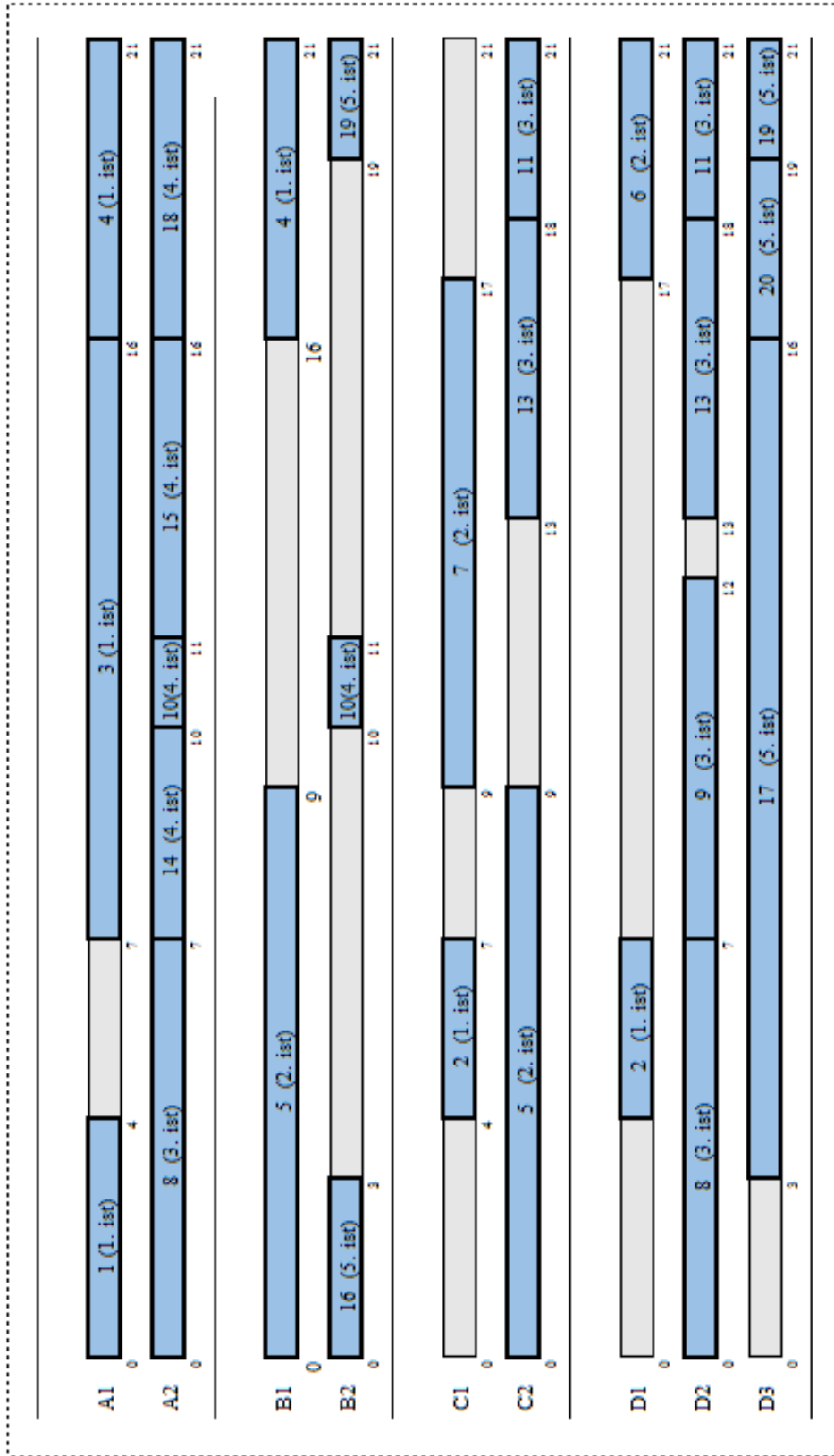


(b)

Şekil 6.1. Matematiksel model ve TB en iyi görev atama ve çizelgesi (Mitchell, C=21)



Şekil 6.2. Matematiksel model en iyi kaynak atama ve çizelgesi (Mitchell, C=21)



Şekil 6.3. Önerilen TB en iyi kaynak atama ve çizelgesi (Mitchell, C=21)

Şekil 6.2’de 21 görevli Mitchell test problemi için matematiksel model ile elde edilen en iyi kaynak ataması ve çizelgesi gösterilmektedir. Toplam dokuz adet kaynak ihtiyacı söz konusu ve bunlar iki adet A tipi, iki adet B tipi, iki adet C tipi ve üç adet D tipi kaynağı şeklindedir. Kaynakların kullanılmadığı süreler gri tonlama ile gösterilmiştir. Yani, 1 numaralı A kaynağı {(0-4), (7-16), (16-21)} zaman dilimlerinde kullanılırken 4-7 zaman dilimi aralığında kullanılmamıştır. Ayrıca iki numaralı kaynak hem üç numaralı hem de dört numaralı istasyonda yer alan görevler için kullanılmıştır. Üç ve 14 numaralı görevler için İstasyon 3’de kullanılıyor iken, 10, 11 ve 15 numaralı görevler için İstasyon 4’de kullanılmaktadır.

Şekil 6.3’de ise 21 görevli Mitchell test problemi için önerilen algoritma ile elde edilen çizelge gösterilmektedir. Her iki çözüm yöntemi ile eşit sayıda istasyon ve kaynak sayısına ulaşılmıştır. Elde edilen bu sonuç alternatif çözümlerin elde edilebileceğini göstermektedir.

6.1. Matematiksel Model Sonuçları

Genel kaynak kullanımı bir kaynağın sadece bir istasyona atanabildiği durum ile ardışık istasyonlarda kaynak paylaşımına izin veren durum için elde edilen matematiksel model sonuçları Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’de verildiği gibidir. Çizelge 6.2’de problem seti-1 için matematiksel model sonuçları yer alıyor iken Çizelge 6.3’de ise problem seti-2 için matematiksel model sonuçları yer almaktadır.

Yüzde sapma miktarları için Eş. 6.1’de verilen formül kullanılmıştır. Burada yüzde sapma alt sınırdan (a) sapma olarak hesaplanmaktadır. Elde edilen amaç fonksiyonu sonuç değeri (b) alt sınır amaç değerinden (a) çıkartılır ve aradaki fark amaç fonksiyonu değerine bölünerek yüzde sapma miktarı hesaplanır.

$$\%sapma = \frac{a-b}{b} * 100 \quad (6.1)$$

Genel kaynak durumu ile elde edilen kaynak sayısı (c), kaynak paylaşım durumu ile elde edilen kaynak sayısı (d) olduğu durum için yüzde iyileşme miktarı Eş. 6.2 şeklinde hesaplanır.

$$\%iyileşme = \frac{c-d}{c} * 100 \quad (6.2)$$

Çizelge 6.2. Problem seti-1 matematiksel model sonuçları

Problem	n	C	Problem seti-1										
			Matematiksel model								Kaynak iyileşme sayısı	% iyileşme	
			Genel kaynak				Kaynak paylaşımlı						
			m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU		k	amaç
Mertens	7	6	6	7	6,24	<3	6	7	6,24	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	7	5	7	5,24	<3	5	6	5,21	<3	1	14,29	0,66
Mertens	7	9	4	5	4,17	<3	4	5	4,17	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	10	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	11	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	15	2	4	2,14	<3	2	3	2,10	<3	1	25,00	1,61
Mertens	7	16	2	4	2,14	<3	2	3	2,10	<3	1	25,00	1,61
Mertens	7	17	2	4	2,14	<3	2	3	2,10	<3	1	25,00	1,61
Mertens	7	20	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	21	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3	0	0,00	0,00
Jackson	11	8	7	7	7,16	<3	7	6	7,13	<3	1	14,29	0,31
Jackson	11	10	5	6	5,13	<3	5	5	5,11	<3	1	16,67	0,43
Jackson	11	12	4	6	4,13	<3	4	5	4,11	<3	1	16,67	0,54
Jackson	11	13	4	5	4,11	<3	4	4	4,09	<3	1	20,00	0,54
Jackson	11	14	4	5	4,11	<3	4	4	4,09	<3	1	20,00	0,54
Jackson	11	16	3	5	3,11	<3	3	4	3,09	<3	1	20,00	0,71
Jackson	11	18	3	4	3,09	<3	3	3	3,07	<3	1	25,00	0,72
Jackson	11	19	3	4	3,09	<3	3	3	3,07	<3	1	25,00	0,72
Jackson	11	21	3	3	3,07	<3	3	2	3,04	<3	1	33,33	0,72
Jackson	11	23	2	4	2,09	<3	2	2	2,04	<3	2	50,00	2,13
Mitchell	21	14	8	14	8,16	54	8	13	8,15	646	1	7,14	0,14
Mitchell	21	18	6	12	6,14	153	6	10	6,12	21	2	16,67	0,38
Mitchell	21	21	5	13	5,15	34	5	9	5,11	15	4	30,77	0,91
Mitchell	21	26	5	10	5,12	26	5	7	5,08	18	3	30,00	0,69
Mitchell	21	28	4	9	4,11	26	4	6	4,07	29	3	33,33	0,86
Mitchell	21	35	3	9	3,11	20	3	5	3,06	23	4	44,44	1,52
Mitchell	21	39	3	8	3,09	23	3	4	3,05	18	4	50,00	1,52
Mitchell	21	46	3	7	3,08	33	3	4	3,05	26	3	42,86	1,15
Mitchell	21	52	3	6	3,07	52	3	4	3,05	34	2	33,33	0,77
Mitchell	21	55	2	6	2,07	40	2	4	2,05	15	2	33,33	1,14
Roszieg	25	16	8	17	8,17	841	8	13	8,13	7200	4	23,53	0,48
Roszieg	25	18	8	15	8,15	7200	8	12	8,12	5880	3	20,00	0,36
Roszieg	25	22	6	13	6,13	271	6	10	6,10	1425	3	23,08	0,48
Roszieg	25	25	6	11	6,11	371	6	8	6,08	366	3	27,27	0,49
Roszieg	25	32	4	11	4,11	54	4	7	4,07	275	4	36,36	0,96
Roszieg	25	44	3	9	3,09	35	3	6	3,06	146	3	33,33	0,96
Roszieg	25	50	3	8	3,08	71	3	5	3,05	58	3	37,50	0,96
Roszieg	25	55	3	8	3,08	96	3	5	3,05	77	3	37,50	0,96
Roszieg	25	60	3	7	3,07	72	3	5	3,05	77	2	28,57	0,65
Roszieg	25	65	2	7	2,07	74	2	4	2,04	105	3	42,86	1,44

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı,
amaç=amaç fonksiyon değeri, CPU=çözüm süresi

Çizelge 6.2. (devam) Problem seti-1 matematiksel model sonuçları

Problem	n	C	Problem seti-1										
			Matematiksel model								Kaynak iyileşme sayısı	% iyileşme	
			Genel kaynak				Kaynak paylaşımlı						
			m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU			
Buxey	29	25	14	27	14,23	7200	14	24	14,21	7200	3	11,11	0,18
Buxey	29	27	13	24	13,21	7200	13	21	13,18	7200	3	12,50	0,19
Buxey	29	30	12	22	12,19	7200	12	20	12,17	7200	2	9,09	0,14
Buxey	29	33	11	20	11,17	7200	11	18	11,15	7200	2	10,00	0,15
Buxey	29	39	9	19	9,16	7200	9	16	9,14	7200	3	15,79	0,28
Buxey	29	42	8	18	8,15	7200	8	14	8,12	7200	4	22,22	0,42
Buxey	29	50	7	15	7,13	7200	7	12	7,10	7200	3	20,00	0,36
Buxey	29	54	7	15	7,13	7200	7	10	7,09	7200	5	33,33	0,60
Buxey	29	58	6	15	6,13	7200	6	10	6,09	7200	5	33,33	0,70
Buxey	29	60	6	14	6,12	4260	6	10	6,09	7200	4	28,57	0,56
Sawyer	30	25	14	22	14,18	7200	14	21	14,17	7200	1	4,55	0,06
Sawyer	30	30	12	22	12,18	7200	12	16	12,13	7200	6	27,27	0,41
Sawyer	30	36	10	13	10,11	7200	10	13	10,11	7200	0	0,00	0,00
Sawyer	30	41	8	17	8,14	7200	8	12	8,10	7200	5	29,41	0,51
Sawyer	30	47	7	18	7,15	7200	7	18	7,15	1757	0	0,00	0,00
Sawyer	30	50	7	14	7,12	7200	7	10	7,08	7200	4	28,57	0,46
Sawyer	30	55	6	13	6,11	5460	6	10	6,08	7200	3	23,08	0,41
Sawyer	30	65	5	13	5,11	7200	5	9	5,07	7200	4	30,77	0,65
Sawyer	30	72	5	10	5,08	6720	5	7	5,06	3053	3	30,00	0,49
Sawyer	30	82	4	10	4,08	1879	4	7	4,06	2817	3	30,00	0,61
Gunther	35	44	12	24	12,17	7200	12	20	12,14	7200	4	16,67	0,23
Gunther	35	50	10	24	10,17	7200	10	17	10,12	7200	7	29,17	0,49
Gunther	35	55	10	21	10,15	7200	9	19	9,13	7200	2	9,52	9,99
Gunther	35	60	9	19	9,13	7200	9	16	9,11	7200	3	15,79	0,23
Gunther	35	75	7	16	7,11	7200	7	14	7,10	7200	2	12,50	0,20
Gunther	35	80	7	15	7,11	7200	7	13	7,09	7200	2	13,33	0,20
Gunther	35	85	6	15	6,11	7200	6	11	6,08	7200	4	26,67	0,46
Gunther	35	90	6	13	6,09	7200	6	11	6,08	7200	2	15,38	0,23
Gunther	35	95	6	14	6,10	7200	6	8	6,06	4020	6	42,86	0,70
Gunther	35	144	4	11	4,08	7200	4	6	4,04	6240	5	45,45	0,87
Kilbridge	45	56	15	24	15,13	7200	15	23	15,13	7200	1	4,17	0,04
Kilbridge	45	62	15	29	15,16	7200	10	29	10,16	7200	0	0,00	32,98
Kilbridge	45	80	7	21	7,12	7200	7	21	7,12	7200	0	0,00	0,00
Kilbridge	45	90	8	19	8,10	7200	8	14	8,08	7200	5	26,32	0,34
Kilbridge	45	110	6	17	6,09	7200	6	17	6,09	7200	0	0,00	0,00
Kilbridge	45	112	5	14	5,08	7200	5	12	5,07	7200	2	14,29	0,22
Kilbridge	45	124	5	14	5,08	7200	5	9	5,05	7200	5	35,71	0,54
Kilbridge	45	138	5	14	5,08	7200	5	9	5,05	7200	5	35,71	0,54
Kilbridge	45	150	4	11	4,06	7200	4	10	4,06	7200	1	9,09	0,14
Kilbridge	45	184	3	9	3,05	7200	3	9	3,05	7200	0	0,00	0,00

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı
amaç=amaç fonksiyon değeri, CPU=çözüm süresi

Çizelge 6.2’de verildiği üzere 45 görevli test problemine kadar matematiksel modeller uygun bir sonuca ulaşılabilmektedir. Kaynak paylaşımına izin veren durum ile genel durum kaynak sonuçları karşılaştırıldığı zaman neredeyse tüm problemlerde daha düşük kaynak ihtiyacı sayısına ulaşılmıştır. Daha düşük kaynak sayılarına ulaşılamayan durumlarda genel kaynak kullanım sayısına eşit kaynak sayısına ulaşılmıştır. Elde edilen matematiksel model ile elde edilen amaç fonksiyonu değerleri önerilen kaynak paylaşım sisteminin kabul edilebilir derecede katkı sağladığını göstermektedir.

Örneğin; 21 görevli Mitchell probleminde çevrim süresi 14 için her iki durumda (genel kaynak kullanımı ve kaynak paylaşımı) sekizer istasyona ulaşılmıştır. Genel kaynak kullanımında 14 adet kaynağa ihtiyaç varken kaynak paylaşımli durumda 13’dür. Kaynak sayısında % 7,14 ve amaç fonksiyon değerinde ise % 0,14 oranında iyileşme sağlanmıştır. Aynı şekilde çevrim süresi 35’e eşit olduğu durumda üç istasyon için gerekli kaynak sayısı dokuz iken yeni durum sayesinde beş kaynakla montaj hattı dengesi bulunmuştur. 45 görevli Kilbridge probleminde çevrim süresi 56 için en iyi sonuç bulunamamasına rağmen eşit sürelerde ulaşılan sonuçlara (7200 saniye koşum yapılmıştır) göre 24 kaynak ihtiyacından 23 kaynak ihtiyacına kadar azaltma sağlanmıştır. Amaç fonksiyon değerinde % 0,04 oranında iyileşme söz konusudur. Matematiksel model ile bir çözüme ulaşılabilen tüm problemlere bakıldığı zaman örneğin yedi görevli Mertens’de çevrim süresi altıya eşit olduğu durumda herhangi bir kaynak iyileşmesi söz konusu değildir. Bu problem için herhangi bir kazanım söz konusu olmamıştır. Bu örnek için elde edilen sonuçlar en iyi çözüm olduğu için ele alınan çevrim süresinde kaynak paylaşım durumu söz konusu değildir.

Orta ve küçük boyutlu sekiz farklı test problemi ve iki farklı kaynak problem seti için 10’ar çevrim süresi dikkate alınmış ve toplam 160 farklı problem çözülmüştür. Genel kaynak kullanımı için 43 test probleminde en iyi sonuç ve 37 problem için uygun çözüme ulaşılmışken, kaynak paylaşımli durum için ise 44 en iyi ve 36 uygun çözüm bulunabilmektedir (bkz. Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3). 45 görevli problemden büyük bir sonraki test problemi 53 görevli Hahn için herhangi bir uygun çözüme ulaşılamamıştır. 53, 58, 70, 75, 83 ve 111 görevli test problemleri için uygun çözümlerin bulunabilmesi için tavlama benzetimi algoritmasına başvurulmuştur. Elde edilen çözümler için elde edilen yüzde iyileşme miktarları hesaplanmıştır.

Çizelge 6.3. Problem seti-2 matematiksel model sonuçları

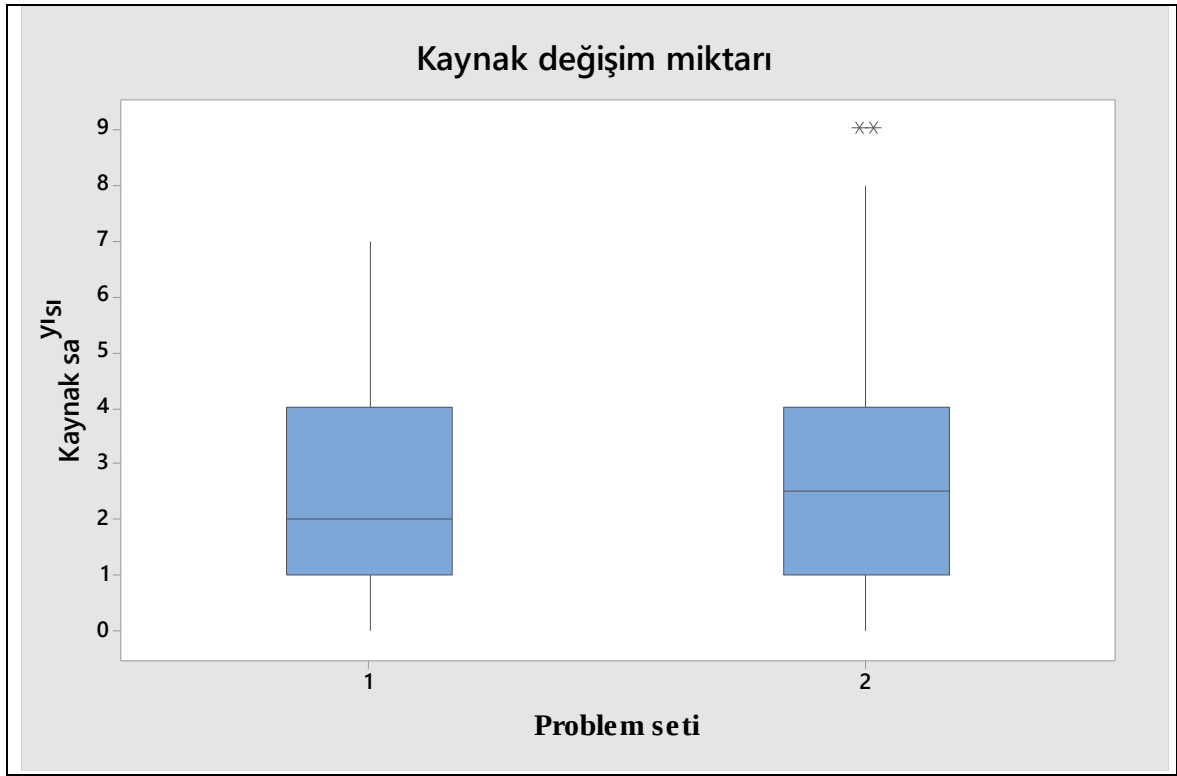
Problem	n	C	Problem seti-2										
			Matematiksel model								Kaynak iyileşme sayısı	% iyileşme	
			Genel kaynak				Kaynak paylaşımlı						
			m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU		k	amaç
Mertens	7	6	6	6	6,21	<3	6	6	6,21	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	7	5	7	5,24	<3	5	6	5,21	<3	1	14,29	0,66
Mertens	7	9	4	5	4,17	<3	4	5	4,17	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	10	3	5	3,17	<3	3	5	3,17	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	11	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	15	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	16	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3	0	0,00	0,00
Mertens	7	17	2	3	2,10	<3	2	2	2,07	<3	1	33,33	1,64
Mertens	7	20	2	3	2,10	<3	2	2	2,07	<3	1	33,33	1,64
Mertens	7	21	2	3	2,10	<3	2	2	2,07	<3	1	33,33	1,64
Jackson	11	8	7	7	7,16	<3	7	7	7,16	<3	0	0,00	0,00
Jackson	11	10	5	7	5,16	<3	5	7	5,16	<3	0	0,00	0,00
Jackson	11	12	4	6	4,13	<3	4	5	4,11	<3	1	16,67	0,54
Jackson	11	13	4	6	4,13	<3	4	5	4,11	<3	1	16,67	0,54
Jackson	11	14	4	6	4,13	<3	4	5	4,11	<3	1	16,67	0,54
Jackson	11	16	3	6	3,13	<3	3	4	3,09	<3	2	33,33	1,42
Jackson	11	18	3	5	3,11	<3	3	4	3,09	<3	1	20,00	0,71
Jackson	11	19	3	5	3,11	<3	3	4	3,09	<3	1	20,00	0,71
Jackson	11	21	3	5	3,11	<3	3	4	3,09	<3	1	20,00	0,71
Jackson	11	23	2	5	2,11	<3	2	4	2,09	<3	1	20,00	1,05
Mitchell	21	14	8	15	8,18	73	8	11	8,13	57	4	26,67	0,58
Mitchell	21	18	6	13	6,15	1964	6	9	6,11	117	4	30,77	0,76
Mitchell	21	21	5	12	5,14	29	5	9	5,11	1966	3	25,00	0,69
Mitchell	21	26	5	10	5,12	105	5	6	5,07	32	4	40,00	0,92
Mitchell	21	28	4	10	4,12	32	4	6	4,07	20	4	40,00	1,14
Mitchell	21	35	3	9	3,11	18	3	6	3,07	30	3	33,33	1,14
Mitchell	21	39	3	7	3,08	15	3	5	3,06	36	2	28,57	0,76
Mitchell	21	46	3	7	3,08	21	3	4	3,05	23	3	42,86	1,15
Mitchell	21	52	3	7	3,08	30	3	4	3,05	23	3	42,86	1,15
Mitchell	21	55	2	7	2,08	30	2	4	2,05	39	3	42,86	1,69
Roszieg	25	16	8	13	8,13	2294	8	12	8,12	7200	1	7,69	0,12
Roszieg	25	18	8	11	8,11	7200	8	11	8,11	7200	0	0,00	0,00
Roszieg	25	22	6	10	6,10	7200	6	8	6,08	195	2	20,00	0,32
Roszieg	25	25	6	10	6,10	7200	6	7	6,07	180	3	30,00	0,49
Roszieg	25	32	4	8	4,08	56	4	6	4,06	65	2	25,00	0,49
Roszieg	25	44	3	7	3,07	35	3	5	3,05	43	2	28,57	0,65
Roszieg	25	50	3	7	3,07	64	3	5	3,05	59	2	28,57	0,65
Roszieg	25	55	3	7	3,07	171	3	4	3,04	65	3	42,86	0,97
Roszieg	25	60	3	6	3,06	69	3	4	3,04	65	2	33,33	0,65
Roszieg	25	65	2	6	2,06	148	2	4	2,04	72	2	33,33	0,96

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı
amaç=amaç fonksiyon değeri, CPU=çözüm süresi

Çizelge 6.3. (devam) Problem seti-2 matematiksel model sonuçları

Problem	n	C	Problem seti-2										
			Matematiksel model								Kaynak iyileşme sayısı	% iyileşme	
			Genel kaynak				Kaynak paylaşımlı						
			m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU		k	amaç
Buxey	29	25	14	21	14,18	7200	14	20	14,17	7200	1	4,76	0,06
Buxey	29	27	13	19	13,16	7200	13	17	13,15	7200	2	10,53	0,13
Buxey	29	30	12	19	12,16	7200	12	17	12,15	7200	2	10,53	0,14
Buxey	29	33	11	16	11,14	1712	11	15	11,13	7200	1	6,25	0,08
Buxey	29	39	9	15	9,13	6780	9	12	9,10	7200	3	20,00	0,28
Buxey	29	42	8	14	8,12	2343	8	11	8,09	7200	3	21,43	0,32
Buxey	29	50	7	12	7,10	2939	7	10	7,09	2929	2	16,67	0,24
Buxey	29	54	7	12	7,10	1893	7	9	7,08	1105	3	25,00	0,36
Buxey	29	58	6	12	6,10	372	6	9	6,08	582	3	25,00	0,42
Buxey	29	60	6	12	6,10	1827	6	8	6,07	1876	4	33,33	0,56
Sawyer	30	25	14	24	14,20	7200	14	20	14,17	7200	4	16,67	0,23
Sawyer	30	30	12	21	12,17	7200	12	18	12,15	7200	3	14,29	0,20
Sawyer	30	36	10	20	10,17	7200	10	14	10,12	7200	6	30,00	0,49
Sawyer	30	41	8	17	8,14	7200	8	17	8,14	7200	0	0,00	0,00
Sawyer	30	47	7	17	7,14	7200	7	13	7,11	7200	4	23,53	0,46
Sawyer	30	50	7	15	7,12	7200	7	11	7,09	7200	4	26,67	0,46
Sawyer	30	55	6	13	6,11	7200	6	10	6,08	7200	3	23,08	0,41
Sawyer	30	65	5	13	5,11	7200	5	9	5,07	7200	4	30,77	0,65
Sawyer	30	72	5	10	5,08	7200	5	7	5,06	7200	3	30,00	0,49
Sawyer	30	82	4	10	4,08	2580	4	7	4,06	7200	3	30,00	0,61
Gunther	35	44	12	27	12,19	7200	12	19	12,13	7200	8	29,63	0,47
Gunther	35	50	10	22	10,16	7200	10	17	10,12	7200	5	22,73	0,35
Gunther	35	55	9	21	9,15	7200	9	17	9,12	7200	4	19,05	0,31
Gunther	35	60	10	24	10,17	7200	9	15	9,11	7200	9	37,50	10,46
Gunther	35	75	7	18	7,13	7200	7	14	7,10	7200	4	22,22	0,40
Gunther	35	80	7	19	7,13	7200	7	14	7,10	7200	5	26,32	0,50
Gunther	35	85	6	16	6,11	7200	6	11	6,08	7200	5	31,25	0,58
Gunther	35	90	6	18	6,13	7200	6	11	6,08	7200	7	38,89	0,81
Gunther	35	95	6	15	6,11	7200	6	13	6,09	7200	2	13,33	0,23
Gunther	35	144	4	11	4,08	7200	4	8	4,06	7200	3	27,27	0,52
Kilbridge	45	56	11	34	11,19	7200	11	25	11,14	7200	9	26,47	0,44
Kilbridge	45	62	10	23	10,13	7200	10	20	10,11	7200	3	13,04	0,16
Kilbridge	45	80	7	18	7,10	7200	7	17	7,09	7200	1	5,56	0,08
Kilbridge	45	90	9	23	9,13	7200	9	23	9,13	7200	0	0,00	0,00
Kilbridge	45	110	6	17	6,09	7200	6	14	6,08	7200	3	17,65	0,27
Kilbridge	45	112	5	15	5,08	7200	5	10	5,06	7200	5	33,33	0,54
Kilbridge	45	124	5	16	5,09	7200	5	11	5,06	7200	5	31,25	0,54
Kilbridge	45	138	5	13	5,07	7200	5	10	5,06	7200	3	23,08	0,33
Kilbridge	45	150	4	13	4,07	7200	4	13	4,07	7200	0	0,00	0,00
Kilbridge	45	184	3	10	3,06	7200	3	9	3,05	7200	1	10,00	0,17

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı
amaç=amaç fonksiyon değeri, CPU=çözüm süresi



Şekil 6.4. Kaynak paylaşımlı matematiksel model ile elde edilen kaynak sayısı iyileşmeleri

Şekil 6.4 ile genel kaynak durumunda elde edilen kaynak sayıları ile kaynak paylaşımlı matematiksel model ile elde edilmiş olan kaynak sayıları arasındaki fark olan kaynak değişim sayıları gösterilmektedir. Problem seti-1 için elde edilen ortalama kaynak sayısı 2,41 adet olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 6.2). En fazla kaynak sayısı kazancı 35 görevli Guhnter test problemi için çevrim süresi 50'ye eşit olduğu durumda 7 adet kaynak kazancı söz konusu olmuştur. Genel durumda 24 adet kaynak ihtiyacı söz konusu iken kaynak paylaşım durumunda 17 adet kaynağa ihtiyaç vardır. Problem seti-2 için kaynak paylaşım durumu ile elde edilen kaynak sayısı kazancı 2,56 adettir (bkz. Çizelge 6.3). En fazla kaynak kazancı 35 görevli Guhnter problemi çevrim süresi 60 ve 45 görevli Kilbridge problemi çevrim süresi 56'ya eşit olduğu durum için 9 adettir.

Tüm problem setleri dikkate alındığı zaman kaynak paylaşım durumu ile her bir problem için ortalama 2,5 adet kaynak kazancı sağlanmıştır.

6.2. Önerilen TB Sonuçları

14 farklı test problemi, iki farklı kaynak problem seti ve her bir problem için 10'ar farklı çevrim süresi için toplamda 280 farklı problemde koşum yapılmıştır. Her bir problem için 10'ar adet sonuç elde edilmiş ve bu sonuçların en iyi sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. Önerilen tavlama benzetimi algoritması ve matematiksel model kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5'de verildiği gibidir. Çizelge 6.4'de problem seti-1 için önerilen tavlama benzetimi ve matematiksel model sonuçları yer alıyor iken Çizelge 6.5'de ise problem seti-2 için önerilen tavlama benzetimi ve matematiksel model sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 6.4'de verilen problem seti-1 için elde edilen sonuçlara göre 80 farklı test probleminden 62 tanesinde önerilen tavlama benzetimi algoritması en iyi sonuçlara ulaşmaktadır. 18 test probleminde ise genel kaynak kullanım durumundan daha iyi sonuç elde edilmesine rağmen kaynak paylaşımlı durum sonuçlarından daha iyi sonuçlara ulaşamamıştır. Önerilen tavlama benzetimi algoritması ile 7 görevli Mertens, 11 görevli Jackson, 29 görevli Buxey ve 45 görevli Kilbridge test probleminde dikkate alınan tüm çevrim süresi sonuçlarında en iyi çözüme ulaşılmış iken 21 görevli Mitchell için beş, 25 görevli Roszieg için iki, 30 görevli Sawyer dokuz ve 35 görevli Guhnter için altı farklı çevrim süresi için en iyi çözüme ulaşılmıştır. Genel olarak bakıldığında zaman problem seti-1 için ele alınan 80 test probleminde %77,50 oranında en iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 6.4'de verilen problem seti 2 için elde edilen sonuçlara göre 80 farklı test probleminden 57 tanesinde önerilen tavlama benzetimi algoritması en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. 23 test probleminde ise genel kaynak kullanım durumundan daha iyi sonuç elde edilmesine rağmen kaynak paylaşımlı durum sonuçlarından daha iyi sonuçlara ulaşamamıştır. Önerilen tavlama benzetimi algoritması ile 7 görevli Mertens, 11 görevli Jackson ve 45 görevli Kilbridge test probleminde tüm çevrim süresi sonuçlarında en iyi çözüme ulaşılmış iken 21 görevli Mitchell için iki, 25 görevli Roszieg için altı, 29 görevli Buxey için altı, 30 görevli Sawyer için dört ve 35 görevli Guhnter için dokuz farklı çevrim süresi için en iyi çözüme ulaşılmıştır. Genel olarak bakıldığında zaman problem seti-2 için ele alınan 80 test probleminde %71,25 oranında en iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 6.4. Problem seti-1 önerilen TB ve matematiksel model sonuçları

Problem	n	C	Alt sınır		Problem seti-1												
					Önerilen TB				Matematiksel model								
									Genel kaynak				Kaynak paylaşımı				
			m	k	amaç	m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU
Mertens	7	6	5	6	5,21	6	7	6,24	<3	6	7	6,24	<3	6	7	6,24	<3
Mertens	7	7	5	5	5,17	5	6	5,21	<3	5	7	5,24	<3	5	6	5,21	<3
Mertens	7	9	4	4	4,14	4	5	4,17	<3	4	5	4,17	<3	4	5	4,17	<3
Mertens	7	10	3	4	3,14	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3
Mertens	7	11	3	3	3,10	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3
Mertens	7	15	2	3	2,10	2	3	2,10	<3	2	4	2,14	<3	2	3	2,10	<3
Mertens	7	16	2	3	2,10	2	3	2,10	<3	2	4	2,14	<3	2	3	2,10	<3
Mertens	7	17	2	2	2,07	2	3	2,10	<3	2	4	2,14	<3	2	3	2,10	<3
Mertens	7	20	2	2	2,07	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3
Mertens	7	21	2	2	2,07	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3
Jackson	11	8	6	5	6,11	7	6	7,13	<3	7	7	7,16	<3	7	6	7,13	<3
Jackson	11	10	5	4	5,09	5	5	5,11	<3	5	6	5,13	<3	5	5	5,11	<3
Jackson	11	12	4	4	4,09	4	5	4,11	<3	4	6	4,13	<3	4	5	4,11	<3
Jackson	11	13	4	3	4,07	4	4	4,09	<3	4	5	4,11	<3	4	4	4,09	<3
Jackson	11	14	4	3	4,07	4	4	4,09	<3	4	5	4,11	<3	4	4	4,09	<3
Jackson	11	16	3	3	3,07	3	4	3,09	<3	3	5	3,11	<3	3	4	3,09	<3
Jackson	11	18	3	3	3,07	3	3	3,07	<3	3	4	3,09	<3	3	3	3,07	<3
Jackson	11	19	3	2	3,04	3	3	3,07	<3	3	4	3,09	<3	3	3	3,07	<3
Jackson	11	21	3	2	3,04	3	2	3,04	<3	3	3	3,07	<3	3	2	3,04	<3
Jackson	11	23	2	2	2,04	2	2	2,04	<3	2	4	2,09	<3	2	2	2,04	<3
Mitchell	21	14	8	10	8,12	8	13	8,15	<3	8	14	8,16	54	8	13	8,15	646
Mitchell	21	18	6	8	6,09	6	10	6,12	<3	6	12	6,14	153	6	10	6,12	21
Mitchell	21	21	5	7	5,08	5	9	5,11	<3	5	13	5,15	34	5	9	5,11	15
Mitchell	21	26	5	6	5,07	5	9	5,11	<3	5	10	5,12	26	5	7	5,08	18
Mitchell	21	28	4	5	4,06	4	7	4,08	<3	4	9	4,11	26	4	6	4,07	29
Mitchell	21	35	3	4	3,05	3	6	3,07	<3	3	9	3,11	20	3	5	3,06	23
Mitchell	21	39	3	4	3,05	3	6	3,07	<3	3	8	3,09	23	3	4	3,05	18
Mitchell	21	46	3	3	3,04	3	5	3,06	<3	3	7	3,08	33	3	4	3,05	26
Mitchell	21	52	3	3	3,04	3	4	3,05	<3	3	6	3,07	52	3	4	3,05	34
Mitchell	21	55	2	3	2,04	2	4	2,05	<3	2	6	2,07	40	2	4	2,05	15
Roszieg	25	16	8	11	8,11	8	15	8,15	<3	8	17	8,17	841	8	13	8,13	7200
Roszieg	25	18	7	10	7,10	8	14	8,14	<3	8	15	8,15	7200	8	12	8,12	5880
Roszieg	25	22	6	8	6,08	6	12	6,12	<3	6	13	6,13	271	6	10	6,10	1425
Roszieg	25	25	5	7	5,07	6	10	6,10	<3	6	11	6,11	371	6	8	6,08	366
Roszieg	25	32	4	6	4,06	4	9	4,09	<3	4	11	4,11	54	4	7	4,07	275
Roszieg	25	44	3	4	3,04	3	7	3,07	<3	3	9	3,09	35	3	6	3,06	146
Roszieg	25	50	3	4	3,04	3	6	3,06	<3	3	8	3,08	71	3	5	3,05	58
Roszieg	25	55	3	4	3,04	3	6	3,06	<3	3	8	3,08	96	3	5	3,05	77
Roszieg	25	60	3	3	3,03	3	5	3,05	<3	3	7	3,07	72	3	5	3,05	77
Roszieg	25	65	2	3	2,03	2	4	2,04	<3	2	7	2,07	74	2	4	2,04	105

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı,
amaç=amaç fonksiyon değeri, CPU=çözüm süresi

Çizelge 6.4. (devam) Problem seti-1 önerilen TB ve matematiksel model sonuçları

Problem	n	C	Alt sınır			Problem seti-1											
						Önerilen TB				Matematiksel model							
										Genel kaynak				Kaynak paylaşımlı			
			m	k	amaç	m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU
Buxey	29	25	13	15	13,13	14	21	14,18	<3	14	27	14,23	7200	14	24	14,21	7200
Buxey	29	27	12	14	12,12	13	19	13,16	<3	13	24	13,21	7200	13	21	13,18	7200
Buxey	29	30	11	12	11,10	12	19	12,16	<3	12	22	12,19	7200	12	20	12,17	7200
Buxey	29	33	10	11	10,09	11	17	11,15	<3	11	20	11,17	7200	11	18	11,15	7200
Buxey	29	39	9	10	9,09	9	14	9,12	<3	9	19	9,16	7200	9	16	9,14	7200
Buxey	29	42	8	9	8,08	8	12	8,10	<3	8	18	8,15	7200	8	14	8,12	7200
Buxey	29	50	7	8	7,07	7	11	7,09	<3	7	15	7,13	7200	7	12	7,10	7200
Buxey	29	54	6	7	6,06	7	10	7,09	<3	7	15	7,13	7200	7	10	7,09	7200
Buxey	29	58	6	7	6,06	6	10	6,09	<3	6	15	6,13	7200	6	10	6,09	7200
Buxey	29	60	6	6	6,05	6	10	6,09	<3	6	14	6,12	4260	6	10	6,09	7200
Sawyer	30	25	13	13	13,11	14	17	14,14	<3	14	22	14,18	7200	14	21	14,17	7200
Sawyer	30	30	11	11	11,09	12	15	12,12	<3	12	22	12,18	7200	12	16	12,13	7200
Sawyer	30	36	9	9	9,07	10	13	10,11	<3	10	13	10,11	7200	10	3	10,02	7200
Sawyer	30	41	8	8	8,07	8	12	8,10	<3	8	17	8,14	7200	8	12	8,10	7200
Sawyer	30	47	7	7	7,06	8	10	8,08	<3	7	18	7,15	7200	7	18	7,15	7200
Sawyer	30	50	7	7	7,06	7	10	7,08	<3	7	14	7,12	7200	7	10	7,08	7200
Sawyer	30	55	6	6	6,05	6	9	6,07	<3	6	13	6,11	5460	6	10	6,08	7200
Sawyer	30	65	5	5	5,04	5	9	5,07	<3	5	13	5,11	7200	5	9	5,07	7200
Sawyer	30	72	5	5	5,04	5	7	5,06	<3	5	10	5,08	6720	5	7	5,06	3053
Sawyer	30	82	4	4	4,03	4	7	4,06	<3	4	10	4,08	1879	4	7	4,06	2817
Gunther	35	44	11	15	11,11	12	20	12,14	3	12	24	12,17	7200	12	20	12,14	7200
Gunther	35	50	10	14	10,10	10	18	10,13	3	10	24	10,17	7200	10	17	10,12	7200
Gunther	35	55	9	12	9,09	9	18	9,13	3	10	21	10,15	7200	9	19	9,13	7200
Gunther	35	60	9	11	9,08	9	15	9,11	3	9	19	9,13	7200	9	16	9,11	7200
Gunther	35	75	7	9	7,06	7	14	7,10	3	7	16	7,11	7200	7	14	7,10	7200
Gunther	35	80	7	9	7,06	7	12	7,09	3	7	15	7,11	7200	7	13	7,09	7200
Gunther	35	85	6	8	6,06	6	11	6,08	3	6	15	6,11	7200	6	11	6,08	7200
Gunther	35	90	6	8	6,06	6	11	6,08	3	6	13	6,09	7200	6	11	6,08	7200
Gunther	35	95	6	7	6,05	6	11	6,08	3	6	14	6,10	7200	6	8	6,06	4020
Gunther	35	144	4	5	4,04	4	8	4,06	3	4	11	4,08	7200	4	6	4,04	6240
Kilbridge	45	56	10	10	10,06	10	16	10,09	3	15	24	15,13	7200	15	23	15,13	7200
Kilbridge	45	62	9	9	9,05	9	16	9,09	3	15	29	15,16	7200	10	29	10,16	7200
Kilbridge	45	80	7	7	7,04	7	11	7,06	3	7	21	7,12	7200	7	21	7,12	7200
Kilbridge	45	90	7	6	7,03	7	10	7,06	3	8	19	8,10	7200	8	14	8,08	7200
Kilbridge	45	110	6	5	6,03	6	12	6,07	3	6	17	6,09	7200	6	17	6,09	7200
Kilbridge	45	112	5	5	5,03	5	9	5,05	3	5	14	5,08	7200	5	12	5,07	7200
Kilbridge	45	124	5	5	5,03	5	9	5,05	3	5	14	5,08	7200	5	9	5,05	7200
Kilbridge	45	138	4	4	4,02	4	9	4,05	3	5	14	5,08	7200	5	9	5,05	7200
Kilbridge	45	150	4	4	4,02	4	7	4,04	3	4	11	4,06	7200	4	10	4,06	7200
Kilbridge	45	184	3	3	3,02	3	7	3,04	3	3	9	3,05	7200	3	9	3,05	7200

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı,
amaç=amaç fonksiyon değeri, CPU=çözüm süresi

Çizelge 6.5. Problem seti-2 önerilen TB ve matematiksel model sonuçları

Problem	n	C	Alt sınır			Problem seti-2											
						Önerilen TB				Matematiksel model							
										Genel kaynak				Kaynak paylaşımlı			
			m	k	amaç	m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU
Mertens	7	6	5	6	5,21	6	6	6,21	<3	6	6	6,21	<3	6	6	6,21	<3
Mertens	7	7	5	5	5,17	5	6	5,21	<3	5	7	5,24	<3	5	6	5,21	<3
Mertens	7	9	4	4	4,14	4	5	4,17	<3	4	5	4,17	<3	4	5	4,17	<3
Mertens	7	10	3	4	3,14	3	5	3,17	<3	3	5	3,17	<3	3	5	3,17	<3
Mertens	7	11	3	3	3,10	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3	3	4	3,14	<3
Mertens	7	15	2	3	2,10	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3
Mertens	7	16	2	2	2,07	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3	2	3	2,10	<3
Mertens	7	17	2	2	2,07	2	2	2,07	<3	2	3	2,10	<3	2	2	2,07	<3
Mertens	7	20	2	2	2,07	2	2	2,07	<3	2	3	2,10	<3	2	2	2,07	<3
Mertens	7	21	2	2	2,07	2	2	2,07	<3	2	3	2,10	<3	2	2	2,07	<3
Jackson	11	8	6	5	6,11	7	7	7,16	<3	7	7	7,16	<3	7	7	7,16	<3
Jackson	11	10	5	4	5,09	5	7	5,16	<3	5	7	5,16	<3	5	7	5,16	<3
Jackson	11	12	4	4	4,09	4	5	4,11	<3	4	6	4,13	<3	4	5	4,11	<3
Jackson	11	13	4	3	4,07	4	5	4,11	<3	4	6	4,13	<3	4	5	4,11	<3
Jackson	11	14	4	3	4,07	4	5	4,11	<3	4	6	4,13	<3	4	5	4,11	<3
Jackson	11	16	3	3	3,07	3	4	3,09	<3	3	6	3,13	<3	3	4	3,09	<3
Jackson	11	18	3	3	3,07	3	4	3,09	<3	3	5	3,11	<3	3	4	3,09	<3
Jackson	11	19	3	3	3,07	3	4	3,09	<3	3	5	3,11	<3	3	4	3,09	<3
Jackson	11	21	3	2	3,04	3	4	3,09	<3	3	5	3,11	<3	3	4	3,09	<3
Jackson	11	23	2	2	2,04	2	4	2,09	<3	2	5	2,11	<3	2	4	2,09	<3
Mitchell	21	14	8	9	8,11	8	13	8,15	<3	8	15	8,18	73	8	11	8,13	57
Mitchell	21	18	6	7	6,08	6	10	6,12	<3	6	13	6,15	1964	6	9	6,11	117
Mitchell	21	21	5	6	5,07	5	10	5,12	<3	5	12	5,14	29	5	9	5,11	1966
Mitchell	21	26	5	5	5,06	5	8	5,09	<3	5	10	5,12	105	5	6	5,07	32
Mitchell	21	28	4	5	4,06	4	7	4,08	<3	4	10	4,12	32	4	6	4,07	20
Mitchell	21	35	3	4	3,05	3	6	3,07	<3	3	9	3,11	18	3	6	3,07	30
Mitchell	21	39	3	4	3,05	3	6	3,07	<3	3	7	3,08	15	3	5	3,06	36
Mitchell	21	46	3	3	3,04	3	5	3,06	<3	3	7	3,08	21	3	4	3,05	23
Mitchell	21	52	3	3	3,04	3	5	3,06	<3	3	7	3,08	30	3	4	3,05	23
Mitchell	21	55	2	3	2,04	2	4	2,05	<3	2	7	2,08	30	2	4	2,05	39
Roszieg	25	16	8	8	8,08	8	12	8,12	<3	8	13	8,13	2294	8	12	8,12	7200
Roszieg	25	18	7	7	7,07	8	11	8,11	<3	8	11	8,11	7200	8	11	8,11	7200
Roszieg	25	22	6	6	6,06	6	9	6,09	<3	6	10	6,10	7200	6	8	6,08	195
Roszieg	25	25	5	5	5,05	6	8	6,08	<3	6	10	6,10	7200	6	7	6,07	180
Roszieg	25	32	4	4	4,04	4	7	4,07	<3	4	8	4,08	56	4	6	4,06	65
Roszieg	25	44	3	3	3,03	3	6	3,06	<3	3	7	3,07	35	3	5	3,05	43
Roszieg	25	50	3	3	3,03	3	5	3,05	<3	3	7	3,07	64	3	5	3,05	59
Roszieg	25	55	3	3	3,03	3	4	3,04	<3	3	7	3,07	171	3	4	3,04	65
Roszieg	25	60	3	3	3,03	3	4	3,04	<3	3	6	3,06	69	3	4	3,04	65
Roszieg	25	65	2	2	2,02	2	4	2,04	<3	2	6	2,06	148	2	4	2,04	72

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı,
amaç=amaç fonksiyon değeri, CPU=çözüm süresi

Çizelge 6.5. (devam) Problem seti-2 önerilen TB ve matematiksel model sonuçları

Problem	n	C	Alt sınır			Problem seti-2											
						Önerilen TB				Matematiksel model							
										Genel kaynak				Kaynak paylaşımı			
			m	k	amaç	m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU	m	k	amaç	CPU
Buxey	29	25	13	16	13,14	14	20	14,17	<3	14	21	14,18	7200	14	20	14,17	7200
Buxey	29	27	12	14	12,12	13	17	13,15	<3	13	19	13,16	7200	13	17	13,15	7200
Buxey	29	30	11	13	11,11	12	17	12,15	<3	12	19	12,16	7200	12	17	12,15	7200
Buxey	29	33	10	12	10,10	11	15	11,13	<3	11	16	11,14	1712	11	15	11,13	7200
Buxey	29	39	9	10	9,09	9	13	9,11	<3	9	15	9,13	6780	9	12	9,10	7200
Buxey	29	42	8	9	8,08	8	12	8,10	<3	8	14	8,12	2343	8	11	8,09	7200
Buxey	29	50	7	8	7,07	7	11	7,09	<3	7	12	7,10	2939	7	10	7,09	2929
Buxey	29	54	6	7	6,06	7	10	7,09	<3	7	12	7,10	1893	7	9	7,08	1105
Buxey	29	58	6	7	6,06	6	9	6,08	<3	6	12	6,10	372	6	9	6,08	582
Buxey	29	60	6	7	6,06	6	10	6,09	<3	6	12	6,10	1827	6	8	6,07	1876
Sawyer	30	25	13	17	13,14	14	22	14,18	<3	14	24	14,20	7200	14	20	14,17	7200
Sawyer	30	30	11	14	11,12	12	18	12,15	<3	12	21	12,17	7200	12	18	12,15	7200
Sawyer	30	36	9	12	9,10	10	16	10,13	<3	10	20	10,17	7200	10	14	10,12	7200
Sawyer	30	41	8	11	8,09	8	16	8,13	<3	8	17	8,14	7200	8	17	8,14	7200
Sawyer	30	47	7	9	7,07	8	12	8,10	<3	7	17	7,14	7200	7	13	7,11	7200
Sawyer	30	50	7	9	7,07	7	12	7,10	<3	7	15	7,12	7200	7	11	7,09	7200
Sawyer	30	55	6	8	6,07	6	12	6,10	<3	6	13	6,11	7200	6	10	6,08	7200
Sawyer	30	65	5	7	5,06	5	9	5,07	<3	5	13	5,11	7200	5	9	5,07	7200
Sawyer	30	72	5	6	5,05	5	9	5,07	<3	5	10	5,08	7200	5	7	5,06	7200
Sawyer	30	82	4	6	4,05	4	7	4,06	<3	4	10	4,08	2580	4	7	4,06	7200
Gunther	35	44	11	15	11,11	12	20	12,14	3	12	27	12,19	7200	12	19	12,13	7200
Gunther	35	50	10	13	10,09	10	15	10,11	3	10	22	10,16	7200	10	17	10,12	7200
Gunther	35	55	9	12	9,09	9	15	9,11	3	9	21	9,15	7200	9	17	9,12	7200
Gunther	35	60	9	11	9,08	9	14	9,10	3	10	24	10,17	7200	9	15	9,11	7200
Gunther	35	75	7	9	7,06	7	12	7,09	3	7	18	7,13	7200	7	14	7,10	7200
Gunther	35	80	7	8	7,06	7	11	7,08	3	7	19	7,13	7200	7	14	7,10	7200
Gunther	35	85	6	8	6,06	6	11	6,08	3	6	16	6,11	7200	6	11	6,08	7200
Gunther	35	90	6	8	6,06	6	11	6,08	3	6	18	6,13	7200	6	11	6,08	7200
Gunther	35	95	6	7	6,05	6	11	6,08	3	6	15	6,11	7200	6	13	6,09	7200
Gunther	35	144	4	5	4,04	4	8	4,06	3	4	11	4,08	7200	4	8	4,06	7200
Kilbridge	45	56	10	12	10,07	10	18	10,10	3	11	34	11,19	7200	11	25	11,14	7200
Kilbridge	45	62	9	11	9,06	9	19	9,10	3	10	23	10,13	7200	10	20	10,11	7200
Kilbridge	45	80	7	8	7,04	7	14	7,08	3	7	18	7,10	7200	7	17	7,09	7200
Kilbridge	45	90	7	8	7,04	7	12	7,07	3	9	23	9,13	7200	9	23	9,13	7200
Kilbridge	45	110	6	6	6,03	6	10	6,06	3	6	17	6,09	7200	6	14	6,08	7200
Kilbridge	45	112	5	6	5,03	5	11	5,06	3	5	15	5,08	7200	5	10	5,06	7200
Kilbridge	45	124	5	6	5,03	5	10	5,06	3	5	16	5,09	7200	5	11	5,06	7200
Kilbridge	45	138	4	5	4,03	4	9	4,05	3	5	13	5,07	7200	5	10	5,06	7200
Kilbridge	45	150	4	5	4,03	4	8	4,04	3	4	13	4,07	7200	4	13	4,07	7200
Kilbridge	45	184	3	4	3,02	3	7	3,04	3	3	10	3,06	7200	3	9	3,05	7200

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı,
amaç=amaç fonksiyon değeri, CPU=çözüm süresi

Tavlama benzetimi algoritması kullanılarak kaynak paylaşımlı kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi için elde edilen sonuçlar Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’da gösterildiği gibidir. Elde edilen sonuçlar geliştirilmiş olan alt sınır ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’da önerilen tavlama benzetimi algoritması ile elde edilen tüm sonuçlar amaç fonksiyonu değeri açısından geliştirilmiş olan alt sınır ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir (bkz. Eş. 6.1). Örneğin, yedi görevli Mertens problemi için çevrim süresi altıya eşit olduğu durumda istasyon sayısı için beş ve kaynak sayısı için altı bulunmuştur. Bu problem için bulunan en iyi çözümde ise istasyon sayısı altı ve kaynak sayısı yedi olarak bulunmuştur. Bu problem için alt sınırdan sapma %16,57 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde 70 görevli Tonge probleminde çevrim süresi 250 için alt sınır istasyon sayısı 15 ve alt sınır kaynak sayısı 17 olarak hesaplanmış iken önerilen tavlama benzetimi algoritması ile alt sınıra eşit olan istasyon sayısına ulaşılmış iken ve kaynak sayısı da 27 olarak bulunmuştur. Elde edilen yüzde sapma miktarı da %0,24 oldukça düşük olarak elde edilmiştir. Alt sınırdan sapmaların en küçüklemesi için öncelik amacımız olan istasyon sayı en küçüklemesi önem arz etmektedir.

Problem seti-1 için elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiği zaman matematiksel model ile sonuç elde edilebilen 80 farklı problem için; önerilen tavlama benzetimi algoritması 18 problemde sadece genel kaynak durumu sonuçlarından daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. Her iki durum yani aynı zamanda da kaynak paylaşımlı durumdan daha iyi olduğu 62 problem söz konusudur. Herhangi bir uygun çözüm elde edilemeyen 60 test problemi için de elde edilen sonuçlar alt sınırdan sapma yüzdesi olarak değerlendirilmiştir. İlk 80 test problemi için alt sınırdan sapma %2,39 iken daha sonraki 60 test problemi için alt sınırdan sapma ortalama %7,33 olarak hesaplanmıştır. Tüm test problemleri için alt sınırdan ortalama sapma miktarı %5,32 olarak elde edilmiştir. Problem seti-2 için ise, 23 problemde sadece genel kaynak durumdan daha iyi sonuçlar elde edilebilmesine rağmen 57 test problemde her iki durumdan daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. İlk 80 test problemi için alt sınırdan sapma %2,42 iken daha sonraki 60 test problemi için alt sınırdan sapma ortalama %6,98 olarak hesaplanmıştır. Tüm test problemleri için alt sınırdan ortalama sapma miktarı %5,14 olarak elde edilmiştir.

İki farklı problem seti için elde edilen %5,32 ve %5,14 sapma değerleri birbirine oldukça yakın sonuçlardır. Önerilen tavlama benzetimi algoritması için iki farklı test probleminin

tamamı dikkate alındığı zaman elde edilen alt sınırdan sapma oranları %5,23'dür. Farklı test problemleri için oldukça yakın sonuçlar elde edilmesi önerilen algoritmanın test problemlerinden bağımsız iyi sonuçlara ulaşabildiği sonucunu vermektedir.

Çizelge 6.6. Problem seti-1 önerilen TB yüzde değişim değerleri

Problem	n	C	Alt sınır			Önerilen TB			% sapma
			m	k	amaç	m	k	amaç	
Mertens	7	6	5	6	5,21	6	7	6,24	-16,57
Mertens	7	7	5	5	5,17	5	6	5,21	-0,66
Mertens	7	9	4	4	4,14	4	5	4,17	-0,83
Mertens	7	10	3	4	3,14	3	4	3,14	0,00
Mertens	7	11	3	3	3,10	3	4	3,14	-1,10
Mertens	7	15	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00
Mertens	7	16	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00
Mertens	7	17	2	2	2,07	2	3	2,10	-1,64
Mertens	7	20	2	2	2,07	2	3	2,10	-1,64
Mertens	7	21	2	2	2,07	2	3	2,10	-1,64
Jackson	11	8	6	5	6,11	7	6	7,13	-14,33
Jackson	11	10	5	4	5,09	5	5	5,11	-0,43
Jackson	11	12	4	4	4,09	4	5	4,11	-0,54
Jackson	11	13	4	3	4,07	4	4	4,09	-0,54
Jackson	11	14	4	3	4,07	4	4	4,09	-0,54
Jackson	11	16	3	3	3,07	3	4	3,09	-0,72
Jackson	11	18	3	3	3,07	3	3	3,07	0,00
Jackson	11	19	3	2	3,04	3	3	3,07	-0,72
Jackson	11	21	3	2	3,04	3	2	3,04	0,00
Jackson	11	23	2	2	2,04	2	2	2,04	0,00
Mitchell	21	14	8	10	8,12	8	13	8,15	-0,43
Mitchell	21	18	6	8	6,09	6	10	6,12	-0,38
Mitchell	21	21	5	7	5,08	5	9	5,11	-0,46
Mitchell	21	26	5	6	5,07	5	9	5,11	-0,69
Mitchell	21	28	4	5	4,06	4	7	4,08	-0,58
Mitchell	21	35	3	4	3,05	3	6	3,07	-0,77
Mitchell	21	39	3	4	3,05	3	6	3,07	-0,77
Mitchell	21	46	3	3	3,04	3	5	3,06	-0,77
Mitchell	21	52	3	3	3,04	3	4	3,05	-0,39
Mitchell	21	55	2	3	2,04	2	4	2,05	-0,57
Roszieg	25	16	8	11	8,11	8	15	8,15	-0,49
Roszieg	25	18	7	10	7,10	8	14	8,14	-12,77
Roszieg	25	22	6	8	6,08	6	12	6,12	-0,65
Roszieg	25	25	5	7	5,07	6	10	6,10	-16,88
Roszieg	25	32	4	6	4,06	4	9	4,09	-0,73
Roszieg	25	44	3	4	3,04	3	7	3,07	-0,97
Roszieg	25	50	3	4	3,04	3	6	3,06	-0,65
Roszieg	25	55	3	4	3,04	3	6	3,06	-0,65
Roszieg	25	60	3	3	3,03	3	5	3,05	-0,65
Roszieg	25	65	2	3	2,03	2	4	2,04	-0,49
Buxey	29	25	13	15	13,13	14	21	14,18	-7,41
Buxey	29	27	12	14	12,12	13	19	13,16	-7,92
Buxey	29	30	11	12	11,10	12	19	12,16	-8,71
Buxey	29	33	10	11	10,09	11	17	11,15	-9,43
Buxey	29	39	9	10	9,09	9	14	9,12	-0,37
Buxey	29	42	8	9	8,08	8	12	8,10	-0,32
Buxey	29	50	7	8	7,07	7	11	7,09	-0,36
Buxey	29	54	6	7	6,06	7	10	7,09	-14,48
Buxey	29	58	6	7	6,06	6	10	6,09	-0,42
Buxey	29	60	6	6	6,05	6	10	6,09	-0,56
Sawyer	30	25	13	13	13,11	14	17	14,14	-7,31
Sawyer	30	30	11	11	11,09	12	15	12,12	-8,52
Sawyer	30	36	9	9	9,07	10	13	10,11	-10,22
Sawyer	30	41	8	8	8,07	8	12	8,10	-0,41
Sawyer	30	47	7	7	7,06	8	10	8,08	-12,68
Sawyer	30	50	7	7	7,06	7	10	7,08	-0,35
Sawyer	30	55	6	6	6,05	6	9	6,07	-0,41
Sawyer	30	65	5	5	5,04	5	9	5,07	-0,65
Sawyer	30	72	5	5	5,04	5	7	5,06	-0,33
Sawyer	30	82	4	4	4,03	4	7	4,06	-0,61
Gunther	35	44	11	15	11,11	12	20	12,14	-8,53
Gunther	35	50	10	14	10,10	10	18	10,13	-0,28
Gunther	35	55	9	12	9,09	9	18	9,13	-0,47
Gunther	35	60	9	11	9,08	9	15	9,11	-0,31
Gunther	35	75	7	9	7,06	7	14	7,10	-0,50
Gunther	35	80	7	9	7,06	7	12	7,09	-0,30
Gunther	35	85	6	8	6,06	6	11	6,08	-0,35
Gunther	35	90	6	8	6,06	6	11	6,08	-0,35
Gunther	35	95	6	7	6,05	6	11	6,08	-0,47
Gunther	35	144	4	5	4,04	4	8	4,06	-0,52
Kilbridge	45	56	10	10	10,06	10	16	10,09	-0,33
Kilbridge	45	62	9	9	9,05	9	16	9,09	-0,43
Kilbridge	45	80	7	7	7,04	7	11	7,06	-0,31
Kilbridge	45	90	7	6	7,03	7	10	7,06	-0,31
Kilbridge	45	110	6	5	6,03	6	12	6,07	-0,64
Kilbridge	45	112	5	5	5,03	5	9	5,05	-0,44
Kilbridge	45	124	5	5	5,03	5	9	5,05	-0,44
Kilbridge	45	138	4	4	4,02	4	9	4,05	-0,68
Kilbridge	45	150	4	4	4,02	4	7	4,04	-0,41
Kilbridge	45	184	3	3	3,02	3	7	3,04	-0,73

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı, amaç=amaç fonksiyon değeri

Çizelge 6.6. (devam) Problem seti-1 önerilen TB yüzde değişim değerleri

Problem	n	C	Alt sınır			Önerilen TB			% sapma
			m	k	amaç	m	k	amaç	
Hahn	53	1900	8	8	8,04	9	15	9,07	-11,39
Hahn	53	2004	7	8	7,04	8	14	8,07	-12,75
Hahn	53	2338	6	7	6,03	7	15	7,07	-14,67
Hahn	53	2500	6	7	6,03	6	12	6,06	-0,39
Hahn	53	2806	5	6	5,03	6	11	6,05	-16,91
Hahn	53	3000	5	6	5,03	5	10	5,05	-0,37
Hahn	53	3200	5	5	5,02	5	9	5,04	-0,37
Hahn	53	3507	4	5	4,02	5	10	5,05	-20,28
Hahn	53	4676	3	4	3,02	4	9	4,04	-25,32
Hahn	53	5000	3	4	3,02	3	7	3,03	-0,46
Wamacke	58	54	29	27	29,12	32	37	32,16	-9,46
Wamacke	58	60	26	24	26,10	28	36	28,15	-7,29
Wamacke	58	74	21	20	21,09	23	30	23,13	-8,83
Wamacke	58	97	16	15	16,06	17	24	17,10	-6,07
Wamacke	58	104	15	14	15,06	16	21	16,09	-6,40
Wamacke	58	108	15	14	15,06	16	22	16,09	-6,43
Wamacke	58	120	13	12	13,05	14	20	14,09	-7,34
Wamacke	58	144	11	10	11,04	12	18	12,08	-8,56
Wamacke	58	194	8	8	8,03	9	16	9,07	-11,41
Wamacke	58	208	8	7	8,03	8	14	8,06	-0,37
Tonge	70	160	22	26	22,09	23	38	23,14	-4,51
Tonge	70	176	20	24	20,09	22	37	22,13	-9,25
Tonge	70	185	19	23	19,08	20	36	20,13	-5,20
Tonge	70	207	17	21	17,07	18	30	18,11	-5,70
Tonge	70	250	15	17	15,06	15	27	15,10	-0,24
Tonge	70	300	12	14	12,05	12	23	12,08	-0,27
Tonge	70	320	11	13	11,05	12	22	12,08	-8,54
Tonge	70	370	10	12	10,04	10	21	10,07	-0,32
Tonge	70	407	9	11	9,04	9	18	9,06	-0,27
Tonge	70	600	6	7	6,02	6	13	6,05	-0,35

Problem	n	C	Alt sınır			Önerilen TB			% sapma
			m	k	amaç	m	k	amaç	
Weemag	75	28	54	70	54,23	63	84	63,28	-14,30
Weemag	75	31	49	64	49,21	62	83	62,28	-20,98
Weemag	75	39	39	51	39,17	60	79	60,26	-35,00
Weemag	75	43	35	46	35,15	50	69	50,23	-30,02
Weemag	75	52	29	38	29,13	31	51	31,17	-6,56
Weemag	75	62	25	32	25,11	30	48	30,16	-16,75
Weemag	75	78	20	26	20,09	21	40	21,13	-4,95
Weemag	75	86	18	23	18,08	19	39	19,13	-5,51
Weemag	75	104	15	19	15,06	15	30	15,10	-0,24
Weemag	75	112	14	18	14,06	14	30	14,10	-0,28
Arcus83	83	3786	20	27	20,08	21	47	21,14	-5,01
Arcus83	83	4206	18	24	18,07	19	38	19,11	-5,45
Arcus83	83	5048	15	20	15,06	16	34	16,10	-6,47
Arcus83	83	6309	12	16	12,05	13	27	13,08	-7,90
Arcus83	83	7572	10	14	10,04	11	24	11,07	-9,30
Arcus83	83	8412	9	12	9,04	10	21	10,06	-10,21
Arcus83	83	9000	9	12	9,04	10	21	10,06	-10,21
Arcus83	83	10096	8	10	8,03	8	17	8,05	-0,26
Arcus83	83	12618	6	8	6,02	7	15	7,05	-14,49
Arcus83	83	18000	5	6	5,02	5	11	5,03	-0,30
Arcus111	111	5755	27	32	27,07	27	56	27,13	-0,20
Arcus111	111	6016	25	31	25,07	27	46	27,10	-7,50
Arcus111	111	7916	19	24	19,05	20	38	20,09	-5,14
Arcus111	111	8500	18	22	18,05	19	34	19,08	-5,38
Arcus111	111	10027	15	19	15,04	16	30	16,07	-6,38
Arcus111	111	11378	14	17	14,04	14	26	14,06	-0,14
Arcus111	111	12032	13	16	13,04	13	27	13,06	-0,19
Arcus111	111	15832	10	12	10,03	10	20	10,04	-0,18
Arcus111	111	17000	9	11	9,02	9	20	9,04	-0,22
Arcus111	111	20054	8	10	8,02	8	16	8,04	-0,17

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı, amaç=amaç fonksiyon değeri

Çizelge 6.7. Problem seti-2 önerilen TB yüzde değişim değerleri

Problem	n	C	Alt sınır			Önerilen TB			% sapma
			m	k	amaç	m	k	amaç	
Mertens	7	6	5	6	5,21	6	6	6,21	-16,11
Mertens	7	7	5	5	5,17	5	6	5,21	-0,66
Mertens	7	9	4	4	4,14	4	5	4,17	-0,83
Mertens	7	10	3	4	3,14	3	5	3,17	-1,09
Mertens	7	11	3	3	3,10	3	4	3,14	-1,10
Mertens	7	15	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00
Mertens	7	16	2	2	2,07	2	3	2,10	-1,64
Mertens	7	17	2	2	2,07	2	2	2,07	0,00
Mertens	7	20	2	2	2,07	2	2	2,07	0,00
Mertens	7	21	2	2	2,07	2	2	2,07	0,00
Jackson	11	8	6	5	6,11	7	7	7,16	-14,60
Jackson	11	10	5	4	5,09	5	7	5,16	-1,29
Jackson	11	12	4	4	4,09	4	5	4,11	-0,54
Jackson	11	13	4	3	4,07	4	5	4,11	-1,08
Jackson	11	14	4	3	4,07	4	5	4,11	-1,08
Jackson	11	16	3	3	3,07	3	4	3,09	-0,72
Jackson	11	18	3	3	3,07	3	4	3,09	-0,72
Jackson	11	19	3	3	3,07	3	4	3,09	-0,72
Jackson	11	21	3	2	3,04	3	4	3,09	-1,44
Jackson	11	23	2	2	2,04	2	4	2,09	-2,13
Mitchell	21	14	8	9	8,11	8	13	8,15	-0,58
Mitchell	21	18	6	7	6,08	6	10	6,12	-0,58
Mitchell	21	21	5	6	5,07	5	10	5,12	-0,92
Mitchell	21	26	5	5	5,06	5	8	5,09	-0,69
Mitchell	21	28	4	5	4,06	4	7	4,08	-0,58
Mitchell	21	35	3	4	3,05	3	6	3,07	-0,77
Mitchell	21	39	3	4	3,05	3	6	3,07	-0,77
Mitchell	21	46	3	3	3,04	3	5	3,06	-0,77
Mitchell	21	52	3	3	3,04	3	5	3,06	-0,77
Mitchell	21	55	2	3	2,04	2	4	2,05	-0,57
Roszieg	25	16	8	8	8,08	8	12	8,12	-0,49
Roszieg	25	18	7	7	7,07	8	11	8,11	-12,82
Roszieg	25	22	6	6	6,06	6	9	6,09	-0,49
Roszieg	25	25	5	5	5,05	6	8	6,08	-16,94
Roszieg	25	32	4	4	4,04	4	7	4,07	-0,73
Roszieg	25	44	3	3	3,03	3	6	3,06	-0,97
Roszieg	25	50	3	3	3,03	3	5	3,05	-0,65
Roszieg	25	55	3	3	3,03	3	4	3,04	-0,33
Roszieg	25	60	3	3	3,03	3	4	3,04	-0,33
Roszieg	25	65	2	2	2,02	2	4	2,04	-0,97
Buxey	29	25	13	16	13,14	14	20	14,17	-7,30
Buxey	29	27	12	14	12,12	13	17	13,15	-7,86
Buxey	29	30	11	13	11,11	12	17	12,15	-8,52
Buxey	29	33	10	12	10,10	11	15	11,13	-9,22
Buxey	29	39	9	10	9,09	9	13	9,11	-0,28
Buxey	29	42	8	9	8,08	8	12	8,10	-0,32
Buxey	29	50	7	8	7,07	7	11	7,09	-0,36
Buxey	29	54	6	7	6,06	7	10	7,09	-14,48
Buxey	29	58	6	7	6,06	6	9	6,08	-0,28
Buxey	29	60	6	7	6,06	6	10	6,09	-0,42
Sawyer	30	25	13	17	13,14	14	22	14,18	-7,34
Sawyer	30	30	11	14	11,12	12	18	12,15	-8,50
Sawyer	30	36	9	12	9,10	10	16	10,13	-10,20
Sawyer	30	41	8	11	8,09	8	16	8,13	-0,51
Sawyer	30	47	7	9	7,07	8	12	8,10	-12,65
Sawyer	30	50	7	9	7,07	7	12	7,10	-0,35
Sawyer	30	55	6	8	6,07	6	12	6,10	-0,54
Sawyer	30	65	5	7	5,06	5	9	5,07	-0,33
Sawyer	30	72	5	6	5,05	5	9	5,07	-0,49
Sawyer	30	82	4	6	4,05	4	7	4,06	-0,20
Gunther	35	44	11	15	11,11	12	20	12,14	-8,53
Gunther	35	50	10	13	10,09	10	15	10,11	-0,14
Gunther	35	55	9	12	9,09	9	15	9,11	-0,23
Gunther	35	60	9	11	9,08	9	14	9,10	-0,23
Gunther	35	75	7	9	7,06	7	12	7,09	-0,30
Gunther	35	80	7	8	7,06	7	11	7,08	-0,30
Gunther	35	85	6	8	6,06	6	11	6,08	-0,35
Gunther	35	90	6	8	6,06	6	11	6,08	-0,35
Gunther	35	95	6	7	6,05	6	11	6,08	-0,47
Gunther	35	144	4	5	4,04	4	8	4,06	-0,52
Kilbridge	45	56	10	12	10,07	10	18	10,10	-0,33
Kilbridge	45	62	9	11	9,06	9	19	9,10	-0,49
Kilbridge	45	80	7	8	7,04	7	14	7,08	-0,47
Kilbridge	45	90	7	8	7,04	7	12	7,07	-0,31
Kilbridge	45	110	6	6	6,03	6	10	6,06	-0,36
Kilbridge	45	112	5	6	5,03	5	11	5,06	-0,55
Kilbridge	45	124	5	6	5,03	5	10	5,06	-0,44
Kilbridge	45	138	4	5	4,03	4	9	4,05	-0,55
Kilbridge	45	150	4	5	4,03	4	8	4,04	-0,41
Kilbridge	45	184	3	4	3,02	3	7	3,04	-0,55

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı, amaç=amaç fonksiyon değeri

Çizelge 6.7. (devam) Problem seti-2 önerilen TB yüzde değişim değerleri

Problem	n	C	Alt sınır			Önerilen TB			% sapma
			m	k	amaç	m	k	amaç	
Hahn	53	1900	8	10	8,05	9	15	9,07	-11,28
Hahn	53	2004	7	9	7,04	8	15	8,07	-12,74
Hahn	53	2338	6	8	6,04	7	14	7,07	-14,55
Hahn	53	2500	6	7	6,03	6	12	6,06	-0,39
Hahn	53	2806	5	7	5,03	6	12	6,06	-16,90
Hahn	53	3000	5	6	5,03	5	11	5,05	-0,46
Hahn	53	3200	5	6	5,03	5	10	5,05	-0,37
Hahn	53	3507	4	5	4,02	5	10	5,05	-20,28
Hahn	53	4676	3	4	3,02	4	8	4,04	-25,23
Hahn	53	5000	3	4	3,02	3	7	3,03	-0,46
Warnacke	58	54	29	41	29,18	32	54	32,23	-9,48
Warnacke	58	60	26	37	26,16	28	50	28,21	-7,29
Warnacke	58	74	21	30	21,13	23	42	23,18	-8,85
Warnacke	58	97	16	23	16,10	17	34	17,15	-6,11
Warnacke	58	104	15	22	15,09	16	32	16,14	-6,46
Warnacke	58	108	15	21	15,09	15	31	15,13	-0,28
Warnacke	58	120	13	19	13,08	14	29	14,12	-7,38
Warnacke	58	144	11	16	11,07	11	28	11,12	-0,46
Warnacke	58	194	8	12	8,05	9	19	9,08	-11,34
Warnacke	58	208	8	11	8,05	8	18	8,08	-0,37
Tonge	70	160	22	31	22,11	24	46	24,16	-8,50
Tonge	70	176	20	29	20,10	22	40	22,14	-9,21
Tonge	70	185	19	27	19,10	21	42	21,15	-9,71
Tonge	70	207	17	24	17,09	18	37	18,13	-5,77
Tonge	70	250	15	20	15,07	15	32	15,11	-0,28
Tonge	70	300	12	17	12,06	12	26	12,09	-0,26
Tonge	70	320	11	16	11,06	12	25	12,09	-8,54
Tonge	70	370	10	14	10,05	10	22	10,08	-0,28
Tonge	70	407	9	13	9,05	9	20	9,07	-0,27
Tonge	70	600	6	9	6,03	6	15	6,05	-0,35
Weemag	75	28	54	76	54,25	63	92	63,31	-14,30
Weemag	75	31	49	69	49,23	62	90	62,30	-20,98
Weemag	75	39	39	55	39,18	60	86	60,29	-35,00
Weemag	75	43	35	50	35,17	50	74	50,25	-30,01
Weemag	75	52	29	41	29,14	31	55	31,18	-6,56
Weemag	75	62	25	35	25,12	30	53	30,18	-16,77
Weemag	75	78	20	28	20,09	21	42	21,14	-4,95
Weemag	75	86	18	25	18,08	19	41	19,14	-5,50
Weemag	75	104	15	21	15,07	15	33	15,11	-0,26
Weemag	75	112	14	19	14,06	14	30	14,10	-0,26
Arcus83	83	3786	20	26	20,08	21	40	21,12	-4,93
Arcus83	83	4206	18	23	18,07	19	37	19,11	-5,45
Arcus83	83	5048	15	19	15,06	16	33	16,10	-6,47
Arcus83	83	6309	12	16	12,05	13	26	13,08	-7,88
Arcus83	83	7572	10	13	10,04	11	22	11,07	-9,28
Arcus83	83	8412	9	12	9,04	10	21	10,06	-10,21
Arcus83	83	9000	9	11	9,03	9	20	9,06	-0,30
Arcus83	83	10096	8	10	8,03	8	18	8,05	-0,30
Arcus83	83	12618	6	8	6,02	7	14	7,04	-14,46
Arcus83	83	18000	5	6	5,02	5	10	5,03	-0,24
Arcus111	111	5755	27	31	27,07	27	49	27,11	-0,15
Arcus111	111	6016	25	29	25,07	27	46	27,10	-7,52
Arcus111	111	7916	19	22	19,05	20	36	20,08	-5,14
Arcus111	111	8500	18	21	18,05	18	39	18,09	-0,22
Arcus111	111	10027	15	18	15,04	16	31	16,07	-6,40
Arcus111	111	11378	14	16	14,04	14	26	14,06	-0,16
Arcus111	111	12032	13	15	13,03	13	26	13,06	-0,19
Arcus111	111	15832	10	11	10,02	10	20	10,04	-0,20
Arcus111	111	17000	9	11	9,02	9	19	9,04	-0,20
Arcus111	111	20054	8	9	8,02	8	16	8,04	-0,20

*n=görev sayısı, c=çevrim süresi, m=istasyon sayısı, k=kaynak sayısı, amaç=amaç fonksiyon değeri

Çizelge 6.8. Alt sınırdan yüzde sapma değerleri

Problem	n	Problem seti 1			Problem seti 2		
		Önerilen TB	Genel Kaynak	Kaynak paylaşım	Önerilen TB	Genel Kaynak	Kaynak paylaşım
Mertens	7	2,41	2,95	2,41	2,14	2,70	2,43
Jackson	11	1,78	2,51	1,78	2,43	3,05	2,43
Mitchell	21	0,58	1,26	0,35	0,70	1,43	0,44
Roszieg	25	3,49	4,00	3,24	3,47	3,90	3,38
Buxey	29	5,00	5,44	5,09	4,90	5,08	4,89
Sawyer	30	4,15	3,40	3,05	4,11	3,20	2,81
Guhnter	35	1,21	2,51	2,40	1,14	2,70	1,25
Kilbridge	45	0,47	11,40	8,30	0,44	7,00	6,76
% Ortalama		2,39	4,18	3,33	2,42	3,63	3,05

Çizelge 6.8’de matematiksel model ile herhangi bir uygun çözüme ulaşılabilen test problemleri için elde edilmiş olan sonuçların geliştirilen alt sınırdan sapma miktarları verilmektedir. Problem seti-1 için önerilen TB algoritması %2,36; genel kaynak durumu matematiksel modeli ile %4,18 ve kaynak paylaşımlı durum matematiksel modeli ile %3,33’lük sapmalar elde edilmiştir. Aynı şekilde problem seti-2 için önerilen TB %2,42; genel kaynak durumu matematiksel modeli ile 3,63 ve kaynak paylaşımlı durum matematiksel modeli ile %3,05’lük sapmalar ile sonuçlara ulaşılmıştır. Matematiksel model ile herhangi bir çözüme ulaşamayan ancak önerilen TB algoritması ile çözüm elde edilen diğer tüm test problemleri de dikkate alındığı zaman önerilen TB için ortalama sapma %5,32 ve %5,14 olarak elde edilmiştir.

6.3. İstatistiksel Analiz

Matematiksel model ile elde edilen genel kaynak durumu ve kaynak paylaşımlı durum sonuçları Minitab 18 paket programı kullanılarak eşlenik-T testi ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Şekil 6.5 (a)’da en iyi çözüme ulaşılan problem setleri için genel kaynak ve kaynak paylaşım sonuçları, Şekil 6.6 (b)’de tüm problem seti sonuçları için genel kaynak ve kaynak paylaşım sonuçları verilmektedir.

Şekil 6.5 (a) hipotezi

H_{A0} : Sadece en iyi çözüme ulaşılan problem seti sonuçları için genel kaynak durumu ile kaynak paylaşım durumu amaç fonksiyon değeri eşittir.

H_{A1} : Eşit değildir.

Şekil 6.5 (b) hipotezi

H_{B0} : Tüm problem seti sonuçları için genel kaynak durumu ile kaynak paylaşım durumu amaç fonksiyon değeri eşittir.

H_{B1} : Eşit değildir.

Paired T-Test and CI: Genel kaynak; Kaynak paylaşım

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Genel kaynak	80	3,929	1,604	0,179
Kaynak paylaşım	80	3,905	1,604	0,179

Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
0,02446	0,01398	0,00156	(0,02134; 0,02757)

$\mu_{\text{difference}}$: mean of (Genel kaynak - Kaynak paylaşım)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$

T-Value	P-Value
15,65	0,000

(a)

Paired T-Test and CI: Genel kaynak; Kaynak paylaşım

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Genel kaynak	160	6,047	3,235	0,256
Kaynak paylaşım	160	5,979	3,155	0,249

Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
0,0683	0,4086	0,0323	(0,0045; 0,1321)

$\mu_{\text{difference}}$: mean of (Genel kaynak - Kaynak paylaşım)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$

T-Value	P-Value
2,12	0,036

(b)

Şekil 6.5. Genel kaynak ve kaynak paylaşım durumu eşlenik-T testi sonuçları

Şekil 6.5'e göre genel kaynak ve kaynak paylaşım durumları için elde edilen p değeri sonuçlarına göre (0,000 ve 0,036), 0,05 hata seviyesinde H_{A0} ve H_{B0} hipotezlerinin

reddedildiğini sonucuna varılmaktadır. Elde edilen amaç fonksiyonu değerleri açısından en iyi çözüme ulaşılan problem setleri ve tüm problem setleri için istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir ve bu farklılık kaynak paylaşımı durumu lehinedir. Başka bir ifadeyle, önerilen kaynak paylaşımı durumu kaynak paylaşım durumundan daha iyi sonuçlar vermektedir.

Paired T-Test and CI: Önerilen TB; Kaynak paylaşım

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Önerilen TB	80	3,909	1,606	0,180
Kaynak paylaşım	80	3,905	1,604	0,179

Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
0,004289	0,007198	0,000805	(0,002687; 0,005891)

$\mu_{\text{difference}}$: mean of (Önerilen TB - Kaynak paylaşım)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$

T-Value	P-Value
5,33	0,000

(a)

Paired T-Test and CI: Önerilen TB; Kaynak paylaşım

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Önerilen TB	160	5,909	3,060	0,242
Kaynak paylaşım	160	5,979	3,155	0,249

Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
-0,0697	0,4826	0,0382	(-0,1451; 0,0056)

$\mu_{\text{difference}}$: mean of (Önerilen TB - Kaynak paylaşım)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$

T-Value	P-Value
-1,83	0,070

(b)

Şekil 6.6. Önerilen TB ve kaynak paylaşım durumu eşlenik-T testi sonuçları

Şekil 6.6 (a) hipotezi

H_{C0} : Sadece en iyi çözüme ulaşılan problem seti sonuçları için önerilen TB ile kaynak paylaşım durumu amaç fonksiyon değeri eşittir.

H_{C1} : Eşit değildir.

Şekil 6.6 (b) hipotezi

H_{D0} : Tüm problem seti sonuçları için önerilen TB ile kaynak paylaşım durumu amaç fonksiyon değeri eşittir.

H_{D1} : Eşit değildir.

Şekil 6.6 (a)'da en iyi çözüme ulaşılan problem setleri için önerilen TB ve kaynak paylaşım sonuçları ve Şekil 6.6 (b)'de ise tüm problem setleri için önerilen TB ve kaynak paylaşım durumu eşlenik-T testi sonuçları yer almaktadır. Önerilen TB ve kaynak paylaşım durumu için elde edilen p değeri sonuçlarına göre (0,000), 0,05 hata seviyesinde en iyi çözüme ulaşılan problem setleri için H_{C0} hipotezi reddedilir, istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir ve bu farklılık kaynak paylaşımı durumu lehinedir. Ancak, tüm problem setleri için p değeri 0,07'e eşittir ve 0,05 hata seviyesinden daha büyük değer aldığı için H_{D0} hipotezi kabul edilir. Önerilen TB ve kaynak paylaşım durumu için elde edilen amaç fonksiyon değerleri için istatistiksel olarak anlamlı bir fark söz konusu değildir. 0,95 güven düzeyinde H_{D0} hipotezi kabul edilirken 0,90 güven düzeyinde H_{D0} hipotezi reddedilir. 0,90 güven düzeyi dikkate alındığında önerilen TB lehinde bir sonuç ortaya çıkmaktadır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

İşletmelerin devamlılıklarını sağlayabilmeleri için kâr eden bir sistem kurmaları gerekmektedir. Günümüzde işletmeler artan rekabet sebebiyle üretilen ürün ya da hizmetin satış fiyatı üzerinde fedakârlıklar yaparak rekabet edilebilir bir seviyede tutmak gerekmektedir. Bu sebeple işletmeler maliyetlerde iyileştirmeler yapmak zorunda kalmaktadır. Montaj hatlarının kurulum maliyetinde istasyon açma maliyetleri önemli bir yere sahiptir. Çünkü her yeni bir istasyon yeni alana ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple birincil amaç olarak istasyon sayısını azaltmak gerekmektedir. Bu aşamadan sonra gerekli olan maliyetlerden bir tanesinin de gerekli kaynakların maliyeti olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma ikincil amaç olarak maliyetlerin en küçüklemesini de dikkate almaktadır. Ancak toplam maliyet fonksiyonunda açılan istasyon sayısı daha büyük derecede öneme sahiptir.

Bu çalışmada, gerekli kaynakların, istasyonlar arası paylaşımına izin veren kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır. İstasyonlar arası kaynak paylaşımına izin veren şimdiye kadar herhangi bir çalışma ele alınmamıştır. Matematiksel model ile kaynak paylaşımına izin veren ve vermeyen genel kaynak atama durumu için sonuçlar elde edilmiştir. Orta ve büyük boyutlu problemlerde matematiksel model kabul edilebilir sürelerde sonuca ulaşamadığı için metasezgisel yöntemlerden Tavlama Benzetimi algoritması uygulanmıştır.

Tez çalışması kapsamında 14 farklı büyüklükte test problemi ele alınmıştır. Literatürde yer alan öncelik ilişkileri ve işlem zamanları bilenen test problemleri için atanabilir kaynak kümesi ve gerekli kaynak sayısı verileri rassal olarak üretilmiştir. Matematiksel model ile 45 görevli test problemlerine kadar uygun çözümlere ulaşılabilmiştir. 53 ve daha büyük boyutlu test problemleri için de tavlama benzetimi algoritması uygulanmıştır.

Matematiksel model kullanılarak problem seti-1 için, genel kaynak kullanım durumunda 43 ve kaynak paylaşım durumu için ise 44 test probleminde en iyi çözümlere ulaşılmıştır. Problem seti-2 için genel kaynak kullanım durumu için 45 ve kaynak paylaşım durumu için ise 42 adet test probleminde en iyi çözümlere ulaşılmıştır. Herhangi bir uygun çözüme ulaşamayan test problemler için tavlama benzetimi algoritmasına başvurulmuştur.

Kaynak paylaşım durumu için elde edilen amaç fonksiyon değeri sonuçlarının genel kaynak kullanım durum sonuçlarından iyileşme oranları problem seti-1 için %1,07 iken problem seti-2 için ise 0,64 olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde kaynak sayısındaki yüzde iyileşme oranları sırasıyla %21,43 ve %21,33 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların alt sınırdan sapma yüzdeleri önerilen tavlama benzetimi algoritması için %2,66, genel kaynak kullanımı için %5,12 ve kaynak paylaşım durumu için ise %3,92 olarak elde edilmiştir. Problem seti-2 için elde edilen sonuçların alt sınırdan sapma yüzdeleri sırasıyla %2,70, %4,10 ve %3,43'dür. Farklı test problemi üzerinden yapılan analiz sonuçları önerilen kaynak paylaşımli yaklaşımının maliyetlerde fayda sağladığını göstermektedir. Çünkü her bir test problemi için ortalama 2,5 adet kaynak kazancı söz konusudur.

Önerilen Tavlama Benzetimi algoritmasının performansının değerlendirilmesi için Eşlenik-T testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirme yapılmıştır. Hem sadece en iyi çözüme ulaşılan test problemleri için hem de tüm test problemleri için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar 0,95 güven düzeyinde kaynak paylaşım durumunun genel kaynak paylaşım durumundan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu çalışma ile önerilen kaynak paylaşım yaklaşımının istatistiksel olarak kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca en iyi çözüme ulaşılan test problemleri dikkate alındığı durumda önerilen TB algoritmasının kaynak paylaşım durumu için iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda, kaynak paylaşımli kaynak kısıtlı montaj hattı dengeleme problemi için dal sınır ve dal kesme algoritmaları gibi kesin çözüm yöntemleri ile çözüm kaliteleri geliştirilebilir. Ayrıca düz bir montaj hattına sahip kaynak paylaşımli KMHD problemi için geliştirilen matematiksel model, U-tipi veya paralel hatlar için geliştirilebilir. Ayrıca sıra bağımlı hazırlık zamanlı bir model önerilerek kaynak değişim zamanlarını da dikkate alan durum için yeni çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bunlara ek olarak işlem zamanları ya da kaynak değişim zamanlarının stokastik görev zamanlı olarak ele alınması şeklinde yeni çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Acar, N. (1989). Üretim planlaması yöntem ve uygulamaları. *Milli produktivite merkezi yayınları*, 10-14.
- Acar, N. ve Eştaş, S. (1991). Kesikli seri üretim sistemlerinde planlama ve kontrol çalışmaları. *Milli produktivite merkezi yayınları*, 9-16.
- Ağpak, K. and Gökçen, H. (2005). Assembly line balancing: Two resource constrained cases. *International Journal of Production Economics*, 96(1), 129-140.
- Alvarez, M., E., and Pereira, J. (2019). On the complexity of assembly line balancing problems. *Computers and Operations Research*, 108, 182-186.
- Andres, C., Miralles, C., and Pastor R. (2008). Balancing and scheduling tasks in assembly lines with sequence-dependent setup times. *European Journal of Operation Research*, 187(3), 1212-1223.
- Antoine, M., Hind, B. E. H., Wahiba, R. C. K., and Lounes, B. M. (2016). Iterated Local Search for dynamic assembly line rebalancing problem. *International Federation of Automatic Control - PapersOnLine*, 49(12), 515-519.
- Arcus, A. L. (1965). A computer method of sequencing operations for assembly lines. *International Journal of Production Research*, 4(4), 259-277.
- Arcus, A.L. (1963). *An analysis of a computer method of sequencing assembly line operations*. Doctorate Dissertation, University of California, California, 1-5.
- Bakar, N. A., Ramli, M. F., Sin, T. C., and Masran, H. (2019). A review on Robotic assembly line balancing and metaheuristic in manufacturing industry. *In American Institute of Physics Conference Proceedings*, 2138 (1), 1-7.
- Bartholdi, J. J. (1993). Balancing two-sided assembly lines: a case study. *International Journal of Production Research*, 31(10), 2447-2461.
- Barutçuoğlu, Ş. and Azizoğlu M. (2011). Flexible assembly line design problem with fixed number of workstations. *International Journal of Production Research*, 49 (12), 3691-3714.
- Battaia, O. and Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 259-277.
- Bautista, J. and Pereira, J. (2002). Ant algorithms for assembly line balancing. *In International Workshop on Ant Algorithms*, 65-75.
- Baybars, I., (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. *Management Sciences*, 32, 909-932.

- Baykasoglu, A. (2006). Multi-rule multi-objective simulated annealing algorithm for straight and U type assembly line balancing problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(2), 217-232.
- Becker, C. and Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694-715.
- Boysen, N., Fliedner, M., and Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems, *European Journal of Operational Research*, 183, 674-693.
- Boysen, N., Fliedner, M., and Scholl, A. (2009). Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique. *European Journal of Operational Research*, 192(2), 349-373.
- Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K., and Pesch, E. (1999). Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, 112(1), 3-41.
- Bukchin, J. and Rubinovitz, J. (2003). A weighted approach for assembly line design with station paralleling and equipment selection. *Institute of Industry and Systems Engineers Transactions*, 35(1), 73-85.
- Bukchin, J. and Tzur, M. (2000). Design of flexible assembly line to minimize equipment cost. *Institute of Industry and Systems Engineers Transactions*, 32(7), 585-598.
- Chen, Y. Y., Cheng, C. Y., and Li, J. Y. (2018). Resource-constrained assembly line balancing problems with multi-manned workstations. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 107-119.
- Chiang, W. C. (1998). The application of a tabu search metaheuristic to the assembly line balancing problem. *Annals of Operations Research*, 77, 209-227.
- Corominas, A., Ferrer, L., and Pastor, R. (2011). Assembly line balancing: General resource constrained case. *International Journal of Production Research*, 49(12), 3527-3542.
- Delice, Y., Aydoğan, E. K., Söylemez, İ., and Özcan, U. (2018). An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided U-type assembly lines with sequence-dependent set-up times. *Sādhanā*, 43(12), 199-214.
- Eghtesadifard, M., Khalifeh, M., and Khorram, M. (2020). A systematic review of research themes and hot topics in assembly line balancing through the web of science within 1990-2017. *Computers and Industrial Engineering*, 139, 106-182.
- Erel, E. and Sarin, S.C., (1998). A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning and Control*, 9, 414-434.
- Fattahi, P., Roshani, A., and Roshani, A. (2011). A mathematical model and ant colony algorithm for multi-manned assembly line balancing problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(1-4), 363-378.

- Fokkert, J. I. and Kok, T. G. (1997). The mixed and multi model line balancing problem: a comparison. *European Journal of Operational Research*, 100(3), 399-412.
- Gökçen, H., Ağpak, K., and Benzer, R. (2006). Balancing of parallel assembly lines. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 600-609.
- Gutjahr, A. L. and Nemhauser, G. L. (1964). An algorithm for the line balancing problem. *Management Science*, 11(2), 308-315.
- Hamta, N., Ghomi, S. F., Jolai, F., and Bahalke, U. (2011). Bi-criteria assembly line balancing by considering flexible operation times. *Applied Mathematical Modelling*, 35(12), 5592-5608.
- Hazır, Ö., Delorme, X., and Dolgui, A. (2014). A survey on cost and profit oriented assembly line balancing. *International Federation of Automatic Control Proceedings*, 47 (3), 6159-6167.
- Jayaswal, S. and Agarwal, P. (2014). Balancing U-shaped assembly lines with resource dependent task times: A simulated annealing approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4), 522-534.
- Kamarudin, N. H. and Rashid, M. A. (2017). Assembly line balancing with resource constraints using new rank-based crossovers. In *Journal of Physics: Conference Series*, 908 (1), 1-8.
- Kao, H. H., Yeh, D. H., and Wang, Y. H. (2011). Resource constrained assembly line balancing problem solved with ranked positional weight rule. *Review of Economics and Finance*, 1, 71-80.
- Kao, H. H., Yeh, D. H., Wang, Y. H., and Hung, J. C. (2010). An optimal algorithm for type-I assembly line balancing problem with resource constraint. *African Journal of Business Management*, 4(10), 2051-2058.
- Kara, Y. and Atasagun, Y. (2013). Assembly line balancing with resource dependent task times: An application to parallel assembly lines. *International Federation of Automatic Control Proceedings Volumes*, 46(9), 845-850.
- Kara, Y., Özgüven, C., Yalçın, N., and Atasagun, Y. (2011). Balancing straight and U-shaped assembly lines with resource dependent task times. *International Journal of Production Research*, 49(21), 6387-6405.
- Karaboğa, D. (2011). Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. *Nobel Yayınları*, 30-35.
- Kilbridge, M.D. and Wester, L. (1961). A heuristic method of assembly line balancing. *Journal of Industrial Engineering*, 12, 292-298.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. and Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.

- Klein, R. and Scholl, A. (1996). Maximizing the production rate in simple assembly line balancing-a branch and bound procedure. *European Journal of Operational Research*, 91(2), 367-385.
- Kopanos, G. M., Kyriakidis, T. S., and Georgiadis, M. C. (2014). New continuous-time and discrete-time mathematical formulations for resource-constrained project scheduling problems. *Computers and Chemical Engineering*, 68, 96-106.
- Küçükkoç, İ. and Zhang, D. Z. (2015). A mathematical model and genetic algorithm-based approach for parallel two-sided assembly line balancing problem. *Production Planning and Control*, 26(11), 874-894.
- Kurtlu, A. ve Çakır, Ş. (2019). Konaklama işletmelerinde maliyet minimizasyonu sağlamada kaizen maliyetlemenin rolü. *Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 93-110.
- Leu, Y. Y., Matheson, L. A., and Rees, L. P. (1994). Assembly line balancing using genetic algorithms with heuristic-generated initial populations and multiple evaluation criteria. *Decision Sciences*, 25(4), 581-605.
- Li, Z., Janardhanan, M. N., Tang, Q., and Nielsen, P. (2016). Co-evolutionary particle swarm optimization algorithm for two-sided robotic assembly line balancing problem. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(9), 1-14.
- Li, Z., Küçükkoç, İ., and Nilakantan, J. M. (2017). Comprehensive review and evaluation of heuristics and meta-heuristics for two-sided assembly line balancing problem. *Computers and Operations Research*, 84, 146-161.
- Malakooti, B. 2013. Operations and Production Systems with Multiple Objectives. *John Wiley and Sons*, 25-27.
- Manavizadeh, N., Hosseini, N. S., Rabbani, M., and Jolai, F. (2013). A Simulated Annealing algorithm for a mixed model assembly U-line balancing type-I problem considering human efficiency and Just-In-Time approach. *Computers and Industrial Engineering*, 64(2), 669-685.
- McMullen, P. R., and Frazier, G. V. (1998). Using simulated annealing to solve a multiobjective assembly line balancing problem with parallel workstations. *International Journal of Production Research*, 36(10), 2717-2741.
- Mete, S. ve Ağpak, K. (2013). Çok amaçlı geliştirilmiş kaynak kısıtlı çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi ve hesaplama analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 569-575.
- Mete, S., Çil, Z.A., Özceylan, E., and Ağpak, K. (2016). Resource constraint disassembly line balancing problem. *International Federation of Automatic Control-Papers OnLine*, 49 (12), 921-925.
- Miltenburg, G. J. and Wijngaard, J. (1994). The U-line line balancing problem. *Management Science*, 40(10), 1378-1388.

- Mitchell, J. (1957). A computational procedure for balancing zoned assembly lines. *Research Report*. Westinghouse Research Laboratories, Pittsburgh, 1-10.
- Mohammed, F. D., Zakaria, M. Z., Ramli, M. F., and Saad, M. S. (2019). A survey of metaheuristic optimization in solving assembly line balancing problems. *International Journal of Advanced Control and Automation System*, 1(3), 76-82.
- Ogan, D. and Azizoglu, M. (2015). A branch and bound method for the line balancing problem in U-shaped assembly lines with equipment requirements. *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 46-54.
- Özbakır, L. and Tapkan, P. (2011). Bee colony intelligence in zone constrained two-sided assembly line balancing problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11947-11957.
- Özcan, U. (2009). *Çift taraflı montaj hattı dengeleme problemleri için yeni çözüm önerileri*. Doktora tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-20.
- Özcan, U. (2010). Balancing stochastic two-sided assembly lines: A chance-constrained, piecewise-linear, mixed integer program and a simulated annealing algorithm. *European Journal of Operational Research*, 205(1), 81-97.
- Özcan, U. and Toklu, B. (2009). Balancing of mixed-model two-sided assembly lines. *Computers and Industrial Engineering*, 57(1), 217-227.
- Pekin, N. and Azizoglu, M. (2008). Bi criteria flexible assembly line design problem with equipment decisions. *International Journal of Production Research*, 46(22), 6323-6343.
- Purnomo, H. D. and Wee, H. M. (2014). Metaheuristics methods for configuration of assembly lines: A survey. In *Handbook of research on novel soft computing intelligent algorithms: Theory and practical applications*, 165-199.
- Quyen, N. T. P., Chen, J. C., and Yang, C. L. (2017). Hybrid genetic algorithm to solve resource constrained assembly line balancing problem in footwear manufacturing. *Soft Computing*, 21(21), 6279-6295.
- Reeve, N. R. and Thomas, W. H. (1973). Balancing stochastic assembly lines, *AIIE Transactions*, 5(3), 223-229.
- Roshani, A., Fattahi, P., Roshani, A., Salehi, M., and Roshani, A. (2012). Cost-oriented two-sided assembly line balancing problem: a simulated annealing approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25(8), 689-715.
- Şahin, M and Kellegöz, T (2019). A new mixed-integer linear programming formulation and particle swarm optimization based hybrid heuristic for the problem of resource investment and balancing of the assembly line with multi-manned workstations. *Computers and Industrial Engineering*, 133, 107-120.

- Şahin, M. (2016). *U-tipi montaj hattı dengeleme problemlerinde üretim oranının artırılmasına yönelik yeni çözüm yaklaşımları*. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-15.
- Şahin, M., and Kellegöz, T. (2019). Balancing multi-manned assembly lines with walking workers: problem definition, mathematical formulation, and an electromagnetic field optimisation algorithm. *International Journal of Production Research*, 57(20), 6487-6505.
- Şahin, M., Kellegöz, T., ve Söylemez, İ. (2018). Çok işçili montaj hatlarında istasyon ve kaynak yatırımı maliyetinin en küçüklenmesine yönelik tavlama benzetimi ve tam sayılı doğrusal programlamaya dayalı yeni bir algoritma. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(2), 727-739.
- Salveson, M.E. (1955). The Assembly Line Balancing Problem. *The Journal of Industrial Engineering*, 6, 18-25.
- Sawyer, J. F. H. (1970). Line balancing. *Machinery and Allied Products Institute*, 1-7.
- Scholl, A. (1999). Balancing and Sequencing of Assembly Lines, New York: Physica-Verlag Heidelberg, 5-25.
- Seyed-Alagheband, S. A., Ghomi, S. F., and Zandieh, M. (2011). A simulated annealing algorithm for balancing the assembly line type II problem with sequence-dependent setup times between tasks. *International Journal of Production Research*, 49(3), 805-825.
- Shaaban, S., Darwish, A. S., Kalayci, C. B., Polat, O., and Gupta, S. M. (2015). A variable neighbourhood search algorithm for disassembly lines. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26(2), 182-194.
- Sivasankaran, P. and Shahabudeen, P. (2014). Literature review of assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73, 9-12, 1665-1694.
- Suresh, G. and Sahu, S. (1994). Stochastic assembly line balancing using simulated annealing. *The International Journal of Production Research*, 32(8), 1801-1810.
- Tabucanon, M. T. (1988). Multiple criteria decision making in industry. *Elsevier Science*, 265-272.
- Talbi, E. G. (2009). Metaheuristics: from design to implementation. *John Wiley and Sons*, 70-88.
- Thomopoulos, N. T. (1970). Mixed model line balancing with smoothed station assignments. *Management Science*, 16(9), 593-603.
- Tonge, F. M. (1961). A heuristic program of assembly line balancing. *Prentice-Hall, Englewood Cliffs*, 1.

- Vilarinho, P. M. and Simaria, A. S. (2006). ANTBAL: an ant colony optimization algorithm for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. *International journal of production research*, 44(2), 291-303.
- Wei, N. C. and Chao, I. M. (2011). A solution procedure for type E simple assembly line balancing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 61(3), 824-830.
- Yadav, A. and Agrawal, S. (2019). A Multi-Manned Parallel Two-Sided Assembly Line Balancing with Tool Sharing Approach-A Company Case Study Solved By Exact Solution Approach. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9 (2), 51-60.
- Yadav, A., Kulhary, R., Nishad, R., and Agrawal, S. (2019). Parallel two-sided assembly line balancing with tools and tasks sharing. *Assembly Automation*, doi.org/10.1108/AA-02-2018-025.
- Yuan, X. M., Khoo, H. H., Spedding, T. A., Bainbridge, I., and Taplin, D. M. (2004). Minimizing total setup cost for a metal casting company. *In Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, 2, 1189-1194.
- Zhang, H., Yan, Q., Liu, Y., and Jiang, Z. (2016). An integer-coded differential evolution algorithm for simple assembly line balancing problem of type 2. *Assembly Automation*, 36(3), 246–261.

EKLER

EK-1. Problem seti-1 verileri

Problem setleri görev numarası, atanabilir kaynak kümesi ve gerekli kaynak sayısı olmak üzere üç sütundan oluşmaktadır. Her bir görev için atanabilir görev kümesi değeri bir olan veri o tipteki kaynağın atanabileceğini gösteriyor iken 0 değeri o tip kaynağın kullanılmasının mümkün olmadığını ifade etmektedir. Örneğin, Mertens 7 görevli problemi Görev 1 için A, C ve D tipi kaynaklar kullanılabilen iken B tipi kaynak kullanımı söz konusu değildir. Gerekli kaynak sayısı ise aynı anda kaç adet kaynağa ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. 1'inci görev için aynı anda 2 kaynak gerekli iken ((AAC) V (AAD) V (CAD)), 2'inci görev için tek bir tipte kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır (BVC).

Mertens (7)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,0,1,1	2
2	0,1,1,0	1
3	1,0,1,1	1
4	1,1,0,1	2
5	1,0,1,0	1
6	0,0,1,0	1
7	0,1,0,1	1

Jackson (11)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,1,0,0	1
2	1,1,1,0	2
3	0,0,1,0	1
4	0,0,0,0	0
5	0,0,0,0	0
6	0,0,1,1	1
7	0,0,0,0	0
8	0,1,1,1	1
9	1,1,1,1	1
10	1,1,1,1	2
11	0,0,0,0	0

Mitchell(21)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,0,0,0	1
2	0,0,1,1	2
3	1,1,0,0	1
4	1,1,0,0	2
5	1,1,1,0	2
6	1,1,0,1	1
7	0,0,1,0	1
8	1,0,0,1	2
9	1,0,0,1	1
10	1,1,0,0	2
11	1,1,1,1	2
12	0,0,0,0	0
13	0,0,1,1	2
14	1,0,0,1	1
15	1,1,1,1	1
16	0,1,1,1	1
17	0,0,1,1	1
18	1,1,1,1	1
19	1,1,1,1	2
20	0,0,0,1	1
21	0,0,0,0	0

EK-1. (devam) Problem seti-1 verileri

Roszieg(25)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,0	0
2	0,0,0,1	1
3	0,1,1,0	1
4	1,1,0,1	1
5	0,0,1,1	1
6	0,1,1,0	2
7	0,1,1,1	1
8	0,0,1,1	1
9	0,0,1,0	1
10	1,0,0,0	1
11	0,0,0,0	0
12	1,0,1,1	3
13	1,1,1,0	2
14	0,1,1,0	1
15	0,0,0,0	0
16	1,0,1,1	2
17	1,1,1,0	2
18	1,1,0,0	1
19	0,0,0,1	1
20	1,0,1,0	1
21	0,0,1,1	1
22	0,0,0,0	0
23	0,1,1,1	2
24	1,1,1,1	4
25	1,1,1,1	2

Buxey (29)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,1,1,0	3
2	0,1,0,1	1
3	1,1,1,0	2
4	0,0,1,1	2
5	1,1,0,1	3
6	0,1,1,1	1
7	0,0,1,1	1
8	0,1,0,1	2
9	0,0,0,0	0
10	0,0,1,1	2
11	0,0,0,0	0
12	1,0,0,0	1
13	1,0,0,0	1
14	1,0,0,1	2
15	0,0,0,0	0
16	1,0,0,1	2
17	0,0,0,0	0
18	0,1,1,1	3
19	1,1,1,1	1
20	1,1,0,1	2
21	0,1,0,0	1
22	0,0,1,0	1
23	0,0,1,0	1
24	0,1,1,1	1
25	1,0,1,1	1
26	1,1,1,0	1
27	1,1,0,0	2
28	1,0,1,0	1
29	0,1,1,1	2

Sawyer(30)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,0,0,1	2
2	0,0,1,0	1
3	1,1,1,1	1
4	0,0,0,1	1
5	1,0,1,1	3
6	0,1,0,1	1
7	1,1,0,1	0
8	1,1,1,1	3
9	0,1,0,1	2
10	0,0,1,1	0
11	0,0,0,0	0
12	1,0,1,0	1
13	1,0,1,1	2
14	0,1,0,1	2
15	0,0,0,0	0
16	1,0,0,0	0
17	0,0,0,0	0
18	0,1,0,1	1
19	1,1,1,0	2
20	0,1,1,0	0
21	1,1,0,1	0
22	0,1,1,1	1
23	1,1,1,0	3
24	0,1,1,1	2
25	0,1,1,0	0
26	0,0,0,1	1
27	1,0,1,1	1
28	0,0,1,1	0
29	0,0,1,1	0
30	0,0,1,1	1

EK-1. (devam) Problem seti-1 verileri

Guhnter(35)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,1	1
2	1,1,0,0	1
3	0,1,1,0	2
4	0,0,1,1	1
5	0,0,1,0	1
6	1,1,1,0	3
7	1,1,1,0	1
8	1,1,1,1	3
9	1,1,0,1	2
10	1,1,1,1	2
11	1,0,0,1	1
12	1,1,1,0	2
13	0,0,0,1	1
14	1,1,1,1	2
15	0,0,0,1	1
16	0,1,1,0	1
17	1,0,0,1	1
18	1,0,1,1	2
19	0,0,0,0	0
20	0,1,0,1	1
21	1,1,0,1	2
22	1,0,1,0	1
23	1,0,0,0	1
24	1,1,0,0	2
25	1,0,1,1	2
26	0,0,1,1	1
27	1,1,1,1	1
28	1,0,0,0	1
29	1,0,0,0	1
30	0,0,1,1	2
31	1,1,1,0	1
32	0,0,1,0	1
33	0,0,0,1	1
34	1,1,0,0	2
35	1,1,0,1	1

Kilbridge(45)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,0	0
2	0,0,0,0	0
3	0,1,1,1	2
4	0,0,0,0	0
5	0,0,0,0	0
6	0,0,1,1	2
7	1,1,1,1	1
8	0,1,1,1	3
9	0,0,0,0	0
10	0,1,1,1	2
11	1,1,1,0	2
12	0,0,0,0	0
13	1,0,1,1	1
14	0,0,0,0	0
15	0,0,0,0	0
16	1,0,0,1	1
17	0,0,0,0	0
18	0,0,0,0	0
19	0,0,0,1	1
20	0,0,0,0	0
21	0,0,1,0	1
22	0,0,1,1	1
23	0,0,0,0	0
24	0,0,0,0	0
25	1,1,0,1	2
26	1,0,0,0	1
27	1,1,0,0	1
28	0,1,0,1	1
29	1,0,1,0	2
30	1,0,1,1	3
31	1,1,0,1	1
32	0,1,1,1	2
33	0,1,0,1	2
34	0,1,0,1	1
35	0,0,0,0	0
36	0,0,0,0	0
37	1,1,0,1	2
38	1,1,1,1	1
39	0,0,0,1	1
40	1,0,1,1	3
41	1,0,1,0	2
42	0,0,1,0	1
43	0,1,0,1	1
44	0,0,1,0	1
45	0,0,0,0	0

EK-1. (devam) Problem seti-1 verileri

Hahn (53)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,1	1	46	0,0,0,0	0
2	1,1,1,1	2	47	1,0,0,0	1
3	1,1,1,1	1	48	1,1,0,0	2
4	0,0,1,1	1	49	1,1,0,1	1
5	0,0,0,0	0	50	0,0,0,0	0
6	0,0,0,0	0	51	0,0,0,0	0
7	1,0,1,1	1	52	0,0,0,0	0
8	1,0,1,1	2	53	0,1,0,1	2
9	1,0,1,0	1			
10	0,0,0,0	0			
11	0,1,0,1	1			
12	0,1,1,1	3			
13	1,1,1,1	4			
14	0,1,1,1	1			
15	0,0,0,0	0			
16	0,0,0,1	1			
17	0,1,0,0	1			
18	0,0,0,0	0			
19	0,0,1,1	2			
20	1,1,1,0	3			
21	0,0,0,0	0			
22	0,0,0,0	0			
23	1,0,0,0	1			
24	0,0,0,0	0			
25	1,1,1,0	3			
26	0,0,0,0	0			
27	0,1,1,1	1			
28	0,0,0,1	1			
29	0,0,0,0	0			
30	1,0,1,0	2			
31	0,0,0,0	0			
32	0,0,0,0	0			
33	0,0,0,0	0			
34	0,1,0,1	1			
35	0,0,1,1	1			
36	1,1,0,1	2			
37	0,0,0,1	1			
38	0,0,0,0	0			
39	1,0,1,0	1			
40	1,1,1,0	1			
41	0,0,0,0	0			
42	0,0,1,1	2			
43	0,1,0,0	1			
44	1,0,0,1	1			
45	1,0,1,0	2			

EK-1. (devam) Problem seti-1 verileri

Warnacke (58)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,0,0,0	1	46	0,1,0,1	0
2	0,0,1,1	0	47	1,0,1,1	1
3	1,1,1,0	3	48	0,1,1,0	0
4	1,0,0,1	2	49	1,0,1,0	1
5	0,1,0,0	1	50	0,1,1,0	2
6	1,0,0,0	1	51	0,1,0,0	0
7	0,0,0,1	1	52	0,0,0,0	0
8	0,1,0,1	2	53	1,0,1,1	3
9	1,0,0,0	1	54	1,0,0,1	2
10	1,1,0,0	1	55	1,0,1,0	0
11	1,1,0,0	1	56	1,0,0,0	0
12	1,1,0,0	2	57	1,1,0,0	2
13	0,1,1,0	1	58	0,0,1,0	1
14	1,1,1,1	0			
15	1,1,0,1	0			
16	0,1,1,1	2			
17	0,1,1,0	0			
18	0,1,0,1	0			
19	1,0,1,1	2			
20	0,0,0,1	1			
21	0,1,1,1	0			
22	0,0,0,0	0			
23	0,0,1,1	0			
24	1,1,1,0	2			
25	1,0,1,1	0			
26	0,1,1,1	1			
27	1,1,0,1	1			
28	1,1,0,1	2			
29	1,0,0,1	0			
30	1,1,1,0	3			
31	0,1,0,0	1			
32	1,1,0,1	0			
33	1,1,1,0	2			
34	0,1,1,0	0			
35	1,1,1,0	1			
36	0,1,0,0	1			
37	0,1,1,0	2			
38	1,1,0,0	1			
39	0,0,1,0	1			
40	0,1,0,0	0			
41	0,0,0,1	0			
42	1,0,1,1	0			
43	0,0,0,1	0			
44	0,1,1,0	1			
45	0,1,0,0	1			

EK-1. (devam) Problem seti-1 verileri

Tonge (70)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,0	0	46	1,1,1,0	1
2	0,0,1,1	1	47	1,0,1,1	3
3	0,0,0,0	0	48	0,0,0,0	0
4	0,0,0,0	0	49	0,0,0,0	0
5	0,1,1,0	1	50	0,0,0,0	0
6	0,1,0,0	1	51	1,0,1,1	1
7	1,1,1,0	1	52	1,0,0,0	1
8	1,0,0,0	1	53	0,0,0,0	0
9	1,1,0,1	1	54	0,0,0,0	0
10	0,0,0,0	0	55	1,1,1,1	4
11	0,1,1,0	2	56	1,1,1,0	1
12	0,1,0,1	1	57	0,0,0,0	0
13	0,1,0,0	1	58	1,1,1,0	1
14	1,1,1,1	2	59	1,0,0,1	2
15	1,1,0,0	2	60	1,1,1,0	2
16	0,0,0,0	0	61	1,1,1,0	1
17	1,1,1,0	1	62	0,0,0,0	0
18	0,0,0,0	0	63	1,0,1,1	3
19	0,0,0,0	0	64	1,0,0,0	1
20	0,0,0,0	0	65	1,1,1,1	1
21	0,1,1,0	2	66	0,1,1,0	1
22	1,0,0,0	1	67	1,0,1,1	1
23	1,1,0,0	1	68	1,0,1,0	2
24	0,0,0,0	0	69	1,0,1,1	2
25	1,1,1,0	2	70	1,1,0,1	1
26	0,0,0,0	0			
27	0,0,0,0	0			
28	1,1,0,0	2			
29	1,0,1,1	3			
30	0,0,0,0	0			
31	1,0,1,1	1			
32	1,0,0,0	1			
33	1,1,1,1	3			
34	0,0,0,0	0			
35	1,1,1,1	4			
36	1,1,1,1	1			
37	1,1,1,1	3			
38	1,1,1,0	2			
39	1,1,1,0	3			
40	0,1,0,1	2			
41	1,1,1,0	2			
42	0,0,0,0	0			
43	0,0,0,0	0			
44	1,1,0,0	1			
45	0,0,0,0	0			

EK-1. (devam) Problem seti-1 verileri

Wee-Mag (75)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,0,0,1	1	46	0,1,1,1	1
2	0,0,0,0	0	47	1,1,1,0	1
3	1,0,1,1	3	48	1,0,0,0	1
4	1,0,0,0	1	49	0,0,1,1	2
5	1,1,1,0	1	50	1,1,1,1	2
6	0,0,0,1	1	51	1,1,1,1	4
7	0,0,0,0	0	52	0,1,0,1	1
8	0,0,1,1	2	53	0,0,0,0	0
9	0,0,0,0	0	54	1,0,1,0	2
10	1,0,0,0	1	55	0,0,1,1	1
11	0,0,0,1	1	56	1,0,1,0	1
12	1,0,0,1	2	57	0,1,0,0	1
13	1,1,0,1	3	58	1,0,0,0	1
14	0,0,0,0	0	59	1,1,1,1	2
15	1,1,1,0	1	60	1,0,1,1	3
16	1,0,1,1	1	61	1,1,1,0	2
17	1,0,0,0	1	62	1,1,1,0	1
18	1,0,0,0	1	63	1,1,0,0	1
19	1,0,0,1	1	64	0,1,1,1	3
20	0,0,0,0	0	65	0,0,1,0	1
21	0,0,0,0	0	66	1,1,0,1	2
22	1,1,1,0	2	67	1,1,1,0	2
23	0,0,1,0	1	68	0,1,1,1	3
24	0,1,1,0	1	69	0,0,0,1	1
25	0,0,0,0	0	70	0,1,1,1	3
26	1,0,1,0	1	71	0,0,1,0	1
27	1,0,1,0	1	72	1,1,0,0	2
28	0,0,0,1	1	73	0,0,1,0	1
29	0,1,1,1	1	74	0,1,0,0	1
30	0,1,1,0	2	75	0,1,1,0	2
31	1,0,1,1	2			
32	0,1,0,0	1			
33	0,1,1,1	2			
34	0,0,0,0	0			
35	0,0,0,1	1			
36	1,1,0,1	3			
37	1,0,0,0	1			
38	0,0,0,0	0			
39	0,1,0,1	2			
40	0,1,1,0	1			
41	0,1,0,1	1			
42	1,1,0,1	2			
43	1,0,1,0	1			
44	1,1,1,1	2			
45	0,1,0,0	1			

EK-1. (devam) Problem seti-1 verileri

Arcus (83)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,1,0	1	46	1,0,1,0	1
2	1,0,1,1	1	47	1,0,1,1	3
3	1,0,1,1	2	48	0,1,0,1	2
4	0,0,1,1	1	49	0,1,1,1	3
5	1,0,0,0	1	50	0,1,0,0	1
6	1,0,1,0	2	51	0,0,0,0	0
7	1,1,0,1	3	52	1,0,0,0	1
8	0,1,1,0	2	53	0,0,0,1	1
9	0,1,1,0	2	54	0,1,1,0	2
10	1,1,0,1	2	55	0,1,0,0	1
11	0,1,0,1	2	56	0,0,1,1	2
12	1,0,1,0	2	57	1,0,1,1	2
13	0,0,1,1	2	58	0,0,1,1	1
14	0,0,0,0	0	59	1,1,0,0	2
15	1,0,1,1	1	60	1,0,1,1	1
16	1,0,1,0	2	61	1,1,0,1	1
17	0,0,1,1	2	62	1,1,1,0	2
18	1,0,1,0	1	63	0,1,0,0	1
19	0,0,0,1	1	64	1,1,1,0	1
20	1,0,1,0	1	65	1,0,0,1	2
21	1,0,0,1	2	66	0,1,0,0	1
22	1,1,1,0	2	67	1,1,0,1	1
23	0,1,1,1	1	68	0,0,1,1	2
24	0,1,0,1	1	69	1,1,0,0	1
25	0,0,0,0	0	70	0,0,0,0	0
26	1,1,0,0	2	71	1,0,0,0	1
27	0,1,1,0	1	72	0,0,1,0	1
28	0,0,0,0	0	73	1,1,1,0	2
29	0,1,0,1	1	74	0,1,1,0	1
30	0,1,0,1	1	75	0,0,0,0	0
31	0,0,1,1	2	76	0,1,0,0	1
32	0,1,1,0	1	77	1,1,0,1	2
33	0,1,0,1	2	78	0,1,0,0	1
34	1,0,0,1	2	79	0,0,1,1	1
35	0,0,1,0	1	80	0,0,1,0	1
36	0,1,1,0	1	81	0,1,0,1	2
37	1,1,0,0	1	82	0,0,0,1	1
38	0,1,0,1	1	83	0,0,1,0	1
39	1,0,1,0	1			
40	0,0,1,1	1			
41	0,1,0,1	2			
42	0,0,0,0	0			
43	0,0,1,0	1			
44	0,0,0,0	0			
45	0,1,0,1	2			

EK-1. (devam) Problem seti-1 verileri

Arcus (111)								
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,0	0	46	0,0,1,1	1	91	1,1,0,1	2
2	0,0,0,0	0	47	0,1,1,1	2	92	0,1,1,1	3
3	0,1,1,0	1	48	1,1,0,1	3	93	1,1,1,0	2
4	0,0,0,0	0	49	0,0,0,0	0	94	1,1,1,1	3
5	1,1,1,0	3	50	0,1,0,0	1	95	1,1,0,1	3
6	0,0,0,0	0	51	0,0,0,0	0	96	0,0,0,1	1
7	1,0,0,1	2	52	0,0,0,0	0	97	1,0,1,1	3
8	1,1,1,0	1	53	0,0,0,0	0	98	0,0,0,0	0
9	0,0,0,0	0	54	1,1,1,1	2	99	1,1,1,1	4
10	0,0,0,0	0	55	1,0,1,0	1	100	0,0,0,0	0
11	0,0,0,0	0	56	0,1,1,1	1	101	1,1,1,0	3
12	0,0,0,0	0	57	0,1,1,1	3	102	1,0,0,0	1
13	0,0,0,0	0	58	0,0,1,1	2	103	0,0,0,0	0
14	0,1,1,1	3	59	0,0,0,0	0	104	0,0,0,0	0
15	0,1,1,1	3	60	0,1,0,1	2	105	1,1,1,0	3
16	0,0,0,0	0	61	0,0,1,0	1	106	0,0,0,0	0
17	1,1,1,1	3	62	0,0,1,1	2	107	1,0,0,1	2
18	0,1,0,1	1	63	0,0,0,0	0	108	0,0,0,0	0
19	0,0,0,1	1	64	0,1,0,1	2	109	0,0,0,0	0
20	0,1,1,0	2	65	0,0,0,0	0	110	0,0,0,0	0
21	1,1,1,0	2	66	0,0,0,0	0	111	0,1,1,0	2
22	0,0,0,1	1	67	1,1,1,1	1			
23	0,0,0,0	0	68	1,0,1,1	1			
24	0,0,0,0	0	69	1,1,0,1	3			
25	0,0,0,0	0	70	1,1,0,1	3			
26	0,0,0,0	0	71	1,1,1,1	1			
27	1,1,1,0	1	72	0,1,0,1	2			
28	0,0,0,0	0	73	1,0,1,0	2			
29	0,1,0,0	1	74	0,0,0,0	0			
30	1,1,0,0	2	75	0,0,0,0	0			
31	0,1,1,0	2	76	1,0,1,0	1			
32	0,0,0,0	0	77	0,0,0,0	0			
33	0,0,0,0	0	78	0,0,0,0	0			
34	0,0,1,1	1	79	1,1,0,1	2			
35	0,0,0,0	0	80	1,1,0,1	1			
36	1,0,1,0	2	81	0,1,0,1	1			
37	1,0,0,1	1	82	0,0,0,0	0			
38	1,1,0,1	3	83	0,1,0,1	2			
39	0,0,0,0	0	84	0,0,0,1	1			
40	0,0,1,0	1	85	1,1,0,1	3			
41	0,0,0,0	0	86	1,1,1,0	3			
42	1,1,1,0	1	87	1,0,0,1	2			
43	0,0,0,0	0	88	1,0,1,0	1			
44	0,0,0,0	0	89	0,0,0,0	0			
45	1,0,0,1	1	90	0,0,0,0	0			

EK 2. Problem seti-2 verileri

Mertens (7)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,1,1,0	1
2	0,0,0,0	0
3	0,0,0,0	0
4	0,1,0,1	1
5	0,0,1,0	1
6	1,0,1,1	2
7	1,0,1,1	2

Jackson (11)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,1,0,1	2
2	1,0,0,1	2
3	0,1,0,0	1
4	1,1,0,0	1
5	0,1,1,1	2
6	0,0,0,0	0
7	0,0,0,0	0
8	0,0,0,0	0
9	0,0,0,1	1
10	0,0,0,0	0
11	0,0,1,0	1

Mitchell(21)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,0	0
2	1,0,0,1	1
3	1,0,1,0	1
4	1,1,1,1	2
5	0,0,0,0	0
6	1,1,1,0	3
7	1,1,0,1	1
8	0,0,0,0	0
9	0,0,1,0	1
10	1,1,0,0	1
11	0,1,0,0	1
12	1,1,0,1	2
13	1,1,0,0	1
14	0,1,1,1	2
15	0,0,0,0	0
16	0,0,1,0	1
17	0,1,0,1	2
18	1,1,1,0	3
19	1,1,1,1	1
20	1,1,0,1	1
21	0,1,1,0	1

EK 2. (devam) Problem seti-2 verileri

Roszieg(25)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,1,1,1	1
2	1,0,0,0	0
3	1,1,1,1	2
4	0,0,0,0	0
5	0,0,0,1	1
6	0,0,0,0	0
7	1,1,1,0	1
8	0,1,1,1	1
9	1,1,1,0	1
10	0,1,0,0	1
11	1,1,0,1	1
12	1,1,0,1	2
13	0,0,0,0	0
14	0,0,0,0	0
15	0,1,1,1	1
16	1,0,1,0	1
17	1,1,1,0	1
18	1,0,1,1	1
19	1,1,1,1	1
20	1,0,0,0	1
21	0,1,1,1	1
22	0,0,0,0	0
23	1,0,1,1	3
24	0,1,0,1	2
25	1,1,1,1	1

Buxey (29)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,0	0
2	1,0,0,1	2
3	1,0,0,0	1
4	1,0,0,1	1
5	1,0,1,1	3
6	0,1,0,0	1
7	0,0,0,1	1
8	1,1,1,1	2
9	0,0,0,0	0
10	0,0,0,0	0
11	0,0,0,0	0
12	1,1,0,1	3
13	1,1,1,1	4
14	0,0,0,0	0
15	1,0,0,1	2
16	1,0,1,1	2
17	0,0,0,0	0
18	1,1,1,0	3
19	0,0,0,0	0
20	0,0,0,0	0
21	0,0,0,0	0
22	0,1,1,1	3
23	0,0,0,0	0
24	1,0,1,0	1
25	0,0,0,1	0
26	1,0,0,0	1
27	1,1,0,1	1
28	0,0,0,0	0
29	0,1,1,1	1

Sawyer(30)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,1,0,0	1
2	0,0,1,1	1
3	0,0,1,0	1
4	1,0,1,0	2
5	0,0,0,0	0
6	1,1,1,1	2
7	1,0,1,1	1
8	1,1,1,1	2
9	1,1,0,0	1
10	1,0,0,1	1
11	1,0,0,0	1
12	0,0,0,1	1
13	0,0,0,0	0
14	0,1,1,1	2
15	1,0,0,0	1
16	0,0,0,1	1
17	0,0,1,1	2
18	1,0,1,0	2
19	1,0,0,1	1
20	0,0,1,0	1
21	1,0,1,1	1
22	1,1,1,1	2
23	0,0,1,0	1
24	1,0,1,1	1
25	1,0,0,1	1
26	1,1,0,1	3
27	1,1,1,0	1
28	1,1,1,1	3
29	1,0,1,0	1
30	0,0,0,0	0

EK 2. (devam) Problem seti-2 verileri

Guhnter(35)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,1,1,0	2
2	1,0,1,1	2
3	0,1,1,1	2
4	0,1,1,1	1
5	0,0,0,0	0
6	1,1,1,0	3
7	1,0,1,1	1
8	1,1,1,1	3
9	0,1,1,1	1
10	1,0,1,0	1
11	0,0,0,0	0
12	1,0,1,0	2
13	1,1,0,1	1
14	0,1,0,0	1
15	0,0,1,0	1
16	1,1,1,1	1
17	0,0,1,1	2
18	1,0,0,0	1
19	1,0,1,1	1
20	1,0,1,0	2
21	1,1,0,0	2
22	1,1,1,1	3
23	1,0,1,1	2
24	0,0,0,0	0
25	0,1,1,0	1
26	0,0,0,0	0
27	1,1,0,0	1
28	0,0,1,1	1
29	1,1,0,1	3
30	0,1,1,1	3
31	0,0,1,0	1
32	0,1,1,1	3
33	1,1,1,0	2
34	1,0,1,0	1
35	0,0,0,0	0

Kilbridge(45)		
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,1,1,1	3
2	0,0,0,0	0
3	1,1,1,1	2
4	0,1,0,0	1
5	1,0,1,1	2
6	0,0,0,0	0
7	0,1,1,1	3
8	1,0,1,0	2
9	0,0,0,1	1
10	0,1,0,1	1
11	0,1,0,0	1
12	1,1,1,1	2
13	0,0,0,0	0
14	1,1,0,1	2
15	0,0,0,1	1
16	0,1,1,0	2
17	1,0,0,0	1
18	1,0,0,0	1
19	1,1,0,1	3
20	0,1,1,1	2
21	0,0,0,0	0
22	0,1,0,1	2
23	0,1,1,0	2
24	0,0,0,0	0
25	0,0,0,0	0
26	1,0,0,1	2
27	0,0,0,1	1
28	1,0,0,0	1
29	0,0,0,0	0
30	0,0,0,0	0
31	0,0,0,1	1
32	0,0,0,0	0
33	0,1,1,0	2
34	0,0,0,0	0
35	0,1,0,1	1
36	1,1,1,1	1
37	1,1,0,1	2
38	0,1,0,1	2
39	0,1,1,1	2
40	0,0,0,0	0
41	0,0,0,1	1
42	0,1,1,1	2
43	1,1,1,1	1
44	1,0,1,1	1
45	1,1,1,0	1

EK 2. (devam) Problem seti-2 verileri

Hahn (53)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,1,1,0	1	46	0,1,0,1	2
2	1,0,1,0	1	47	0,0,0,0	0
3	1,0,0,1	2	48	1,0,1,0	1
4	1,1,0,0	2	49	1,1,1,1	2
5	0,1,0,1	1	50	0,1,1,1	2
6	0,0,0,0	0	51	0,0,0,1	1
7	0,0,1,0	1	52	1,1,0,0	1
8	0,1,1,1	1	53	0,1,0,1	1
9	0,0,0,0	0			
10	1,1,1,0	2			
11	0,0,0,0	0			
12	1,1,1,0	2			
13	1,0,1,1	1			
14	1,1,0,0	2			
15	0,0,1,0	1			
16	1,0,1,0	2			
17	1,0,1,0	2			
18	0,1,1,1	3			
19	0,0,0,1	1			
20	1,1,0,1	2			
21	0,0,0,0	0			
22	1,1,0,1	3			
23	1,1,1,0	1			
24	1,0,0,1	1			
25	0,1,0,0	1			
26	0,0,1,1	2			
27	0,0,1,1	1			
28	0,0,1,0	1			
29	1,0,1,0	2			
30	0,0,0,0	0			
31	1,1,0,0	1			
32	1,1,0,0	2			
33	0,1,1,1	2			
34	0,0,0,1	1			
35	0,0,1,0	1			
36	0,0,1,0	1			
37	1,0,0,0	1			
38	1,1,1,0	3			
39	1,0,1,0	1			
40	0,0,0,0	0			
41	1,0,1,1	2			
42	1,1,0,1	1			
43	0,0,0,1	1			
44	1,1,1,1	1			
45	1,1,1,1	1			

EK 2. (devam) Problem seti-2 verileri

Warnacke (58)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,0,0,0	1	46	1,0,0,0	1
2	1,0,1,0	2	47	0,1,1,1	2
3	1,1,0,1	2	48	0,0,0,0	0
4	1,1,1,0	1	49	1,1,0,1	1
5	1,0,1,0	2	50	1,1,0,0	2
6	0,0,1,0	1	51	0,0,1,1	1
7	1,0,0,1	1	52	0,0,1,1	1
8	0,0,1,1	2	53	1,1,0,1	2
9	0,1,0,1	2	54	1,1,1,1	1
10	1,1,1,0	3	55	0,1,0,1	2
11	0,0,1,0	1	56	1,1,1,0	2
12	1,1,0,0	1	57	1,1,0,0	2
13	0,0,0,0	0	58	1,0,0,1	2
14	0,0,1,0	1			
15	0,1,0,1	1			
16	0,0,0,1	1			
17	0,0,0,1	1			
18	1,0,0,1	1			
19	1,0,0,0	1			
20	0,0,0,0	0			
21	0,1,0,0	1			
22	0,0,1,0	1			
23	1,0,1,0	2			
24	0,1,0,0	1			
25	0,1,1,0	1			
26	0,1,1,1	1			
27	1,1,1,1	2			
28	1,0,1,1	1			
29	0,1,1,1	3			
30	1,1,0,0	1			
31	0,0,0,1	1			
32	0,1,0,0	1			
33	0,1,0,1	2			
34	1,0,1,1	1			
35	0,1,1,1	1			
36	1,1,0,1	2			
37	0,1,1,0	2			
38	1,1,1,0	1			
39	1,1,1,0	1			
40	1,1,1,0	3			
41	0,1,1,1	1			
42	1,0,0,0	1			
43	0,0,1,1	1			
44	1,0,0,0	1			
45	0,1,1,1	1			

EK 2. (devam) Problem seti-2 verileri

Tonge (70)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,1,1,0	1	46	0,0,1,0	1
2	0,0,1,0	1	47	1,0,1,1	3
3	0,1,0,0	1	48	1,0,1,1	3
4	1,0,0,1	1	49	0,1,1,0	2
5	0,0,1,0	1	50	0,0,1,0	1
6	0,1,0,1	2	51	0,0,0,0	0
7	0,0,0,0	0	52	1,1,0,0	1
8	1,0,1,1	3	53	0,0,1,0	1
9	1,1,0,1	1	54	1,0,1,1	3
10	0,0,1,1	2	55	0,1,0,0	1
11	1,1,0,1	1	56	1,1,1,0	3
12	0,1,0,1	1	57	0,1,1,1	2
13	0,0,1,1	1	58	1,0,1,1	2
14	0,0,1,0	1	59	1,1,1,1	4
15	1,0,0,1	2	60	0,1,0,0	1
16	1,0,1,1	2	61	0,1,0,0	1
17	0,0,1,0	1	62	0,1,1,1	1
18	0,0,0,1	1	63	0,1,0,0	1
19	0,0,0,1	1	64	1,0,1,1	2
20	0,0,1,0	1	65	0,1,1,0	2
21	1,1,0,0	1	66	1,1,1,1	2
22	0,0,1,0	1	67	1,0,1,1	1
23	1,0,1,1	1	68	0,1,0,1	1
24	0,1,1,1	2	69	1,1,1,0	1
25	0,0,0,0	0	70	0,0,1,1	2
26	1,0,0,1	1			
27	0,0,1,1	2			
28	0,0,0,1	1			
29	0,0,0,1	1			
30	1,1,1,1	4			
31	0,0,1,1	1			
32	0,0,0,1	1			
33	0,1,1,1	1			
34	1,1,1,0	1			
35	0,0,0,0	0			
36	1,1,0,0	2			
37	1,0,1,1	3			
38	1,1,0,1	2			
39	0,0,0,1	1			
40	1,1,0,0	2			
41	0,0,1,1	2			
42	0,0,0,0	0			
43	0,0,1,1	1			
44	0,1,1,0	1			
45	0,1,0,1	2			

EK 2. (devam) Problem seti-2 verileri

Wee-Mag (75)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	1,0,1,1	1	46	1,0,0,0	1
2	0,1,1,1	3	47	1,1,0,0	2
3	0,1,0,1	2	48	1,1,0,1	2
4	1,1,1,0	1	49	0,1,1,0	1
5	0,1,1,1	1	50	0,1,0,0	1
6	0,0,0,1	1	51	0,1,0,0	1
7	0,1,1,1	1	52	0,0,0,1	1
8	0,0,1,1	2	53	0,0,0,0	0
9	0,1,0,1	2	54	0,1,0,1	2
10	1,0,0,0	1	55	1,0,0,1	1
11	1,0,1,0	1	56	0,1,1,0	2
12	1,1,1,1	2	57	1,0,1,1	1
13	0,0,0,0	0	58	1,0,0,0	1
14	1,1,1,1	2	59	0,1,1,0	1
15	1,1,1,1	1	60	1,1,1,0	3
16	1,1,1,1	2	61	1,1,1,1	2
17	1,1,0,0	1	62	1,1,1,1	4
18	0,1,1,1	1	63	0,0,0,1	1
19	0,0,1,1	2	64	0,0,1,0	1
20	0,0,0,0	0	65	0,1,0,0	1
21	0,1,1,1	2	66	0,0,1,0	1
22	1,1,0,0	1	67	1,1,1,0	2
23	0,1,0,0	1	68	1,0,0,1	2
24	0,0,0,0	0	69	1,0,0,1	2
25	1,0,1,0	1	70	1,1,0,0	1
26	0,0,1,1	2	71	1,0,0,1	1
27	0,0,1,1	2	72	0,1,1,1	2
28	0,1,1,1	2	73	0,1,1,1	2
29	0,0,0,1	1	74	0,0,1,1	2
30	0,1,1,0	1	75	0,0,1,1	1
31	1,0,1,1	3			
32	1,1,0,1	2			
33	1,1,1,0	3			
34	0,1,0,1	1			
35	0,0,0,0	0			
36	0,1,1,0	1			
37	0,0,1,1	1			
38	0,1,0,1	1			
39	0,1,1,0	1			
40	0,1,1,0	2			
41	0,1,1,1	2			
42	0,0,1,0	1			
43	0,0,0,0	0			
44	0,0,1,1	2			
45	1,1,0,0	1			

EK 2. (devam) Problem seti-2 verileri

Arcus (83)					
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,0,0,0	1	46	0,0,1,1	1
2	0,0,1,1	1	47	0,1,1,0	1
3	1,0,0,1	1	48	1,1,1,1	3
4	0,0,1,1	1	49	0,0,0,0	0
5	1,1,0,1	1	50	0,1,0,0	1
6	1,0,0,1	2	51	1,0,0,0	1
7	1,1,0,1	1	52	1,0,1,1	2
8	0,1,1,0	2	53	0,0,0,0	0
9	0,1,1,0	1	54	0,0,1,1	1
10	1,1,1,1	4	55	0,0,0,0	0
11	1,1,1,1	1	56	0,0,0,1	1
12	0,0,0,0	0	57	1,1,1,0	1
13	0,1,1,1	3	58	0,0,0,1	1
14	0,0,0,1	1	59	0,0,0,0	0
15	0,1,1,0	1	60	0,0,1,1	1
16	0,1,1,0	1	61	1,1,0,0	2
17	1,0,1,0	2	62	1,1,1,0	2
18	1,0,1,1	1	63	0,1,1,0	2
19	0,0,1,1	1	64	0,0,0,1	1
20	1,0,1,1	1	65	0,1,1,0	2
21	1,0,0,1	2	66	0,1,0,0	1
22	1,0,1,0	1	67	0,0,0,0	0
23	1,1,1,0	3	68	0,0,1,1	2
24	0,0,1,1	1	69	0,0,1,0	1
25	0,0,1,0	1	70	0,1,1,0	1
26	1,0,1,0	1	71	1,0,1,0	2
27	1,0,1,0	1	72	0,0,0,1	1
28	1,1,1,1	1	73	0,0,1,1	1
29	0,0,0,1	1	74	0,0,0,0	0
30	1,1,1,0	3	75	1,1,1,0	2
31	0,1,0,0	1	76	0,1,1,0	1
32	1,1,0,0	1	77	1,0,1,0	1
33	0,0,1,0	1	78	0,0,1,1	1
34	0,0,1,1	1	79	1,1,0,0	2
35	0,0,1,0	1	80	0,1,0,1	2
36	0,1,1,0	2	81	0,0,0,1	1
37	0,1,0,1	2	82	0,0,1,0	1
38	1,0,1,1	1	83	0,1,0,0	1
39	0,1,1,0	1			
40	0,0,0,1	1			
41	1,0,1,0	1			
42	0,1,0,0	1			
43	0,1,1,0	2			
44	1,0,1,0	2			
45	0,1,1,1	1			

EK 2. (devam) Problem seti-2 verileri

Arcus (111)								
Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı	Görev	Atanabilir kaynak kümesi	Gerekli kaynak sayısı
1	0,1,1,0	1	46	1,1,1,1	2	91	0,1,1,1	1
2	1,0,1,1	3	47	0,0,0,0	0	92	1,1,1,1	3
3	0,0,0,0	0	48	1,0,0,1	1	93	0,1,0,0	1
4	1,0,1,0	1	49	0,1,0,0	1	94	1,0,1,0	1
5	0,0,1,0	1	50	0,1,0,1	1	95	1,0,1,0	1
6	0,1,1,0	1	51	1,0,1,0	1	96	1,0,0,1	2
7	1,1,1,0	2	52	1,0,1,0	1	97	0,0,0,1	1
8	1,1,1,0	1	53	0,1,0,0	1	98	0,1,1,0	2
9	0,0,0,0	0	54	0,1,1,0	1	99	0,0,0,1	1
10	0,1,1,0	2	55	0,0,1,1	2	100	0,0,0,0	0
11	0,0,0,0	0	56	1,0,1,0	1	101	0,0,1,1	1
12	1,1,1,1	1	57	0,0,1,1	1	102	0,0,1,1	2
13	1,0,1,0	1	58	1,1,1,0	1	103	1,1,0,1	1
14	1,0,1,1	1	59	0,0,1,1	1	104	1,0,0,1	1
15	1,0,1,1	1	60	1,1,1,1	2	105	1,0,1,0	2
16	1,0,0,0	1	61	1,0,1,0	2	106	0,0,0,0	0
17	0,1,1,0	2	62	1,0,0,1	1	107	1,0,0,0	1
18	1,1,0,1	1	63	0,0,1,1	1	108	1,1,1,0	3
19	1,1,1,1	4	64	1,1,1,1	2	109	0,1,1,1	1
20	1,1,0,0	2	65	1,0,1,1	1	110	0,0,1,1	2
21	1,0,0,0	1	66	0,1,0,0	1	111	1,0,0,1	1
22	1,1,1,0	3	67	0,0,0,0	0			
23	1,0,1,0	1	68	0,0,1,1	1			
24	0,0,1,0	1	69	0,0,1,0	1			
25	1,1,1,1	3	70	0,1,0,0	1			
26	1,0,1,0	2	71	0,1,0,1	2			
27	0,1,1,0	1	72	1,0,1,0	1			
28	1,1,1,1	2	73	0,1,1,0	1			
29	1,1,1,1	1	74	0,1,1,1	1			
30	1,1,1,0	1	75	0,1,1,0	1			
31	0,0,1,0	1	76	0,0,1,0	1			
32	0,1,0,0	1	77	1,1,0,0	2			
33	0,1,1,0	1	78	0,0,0,0	0			
34	0,0,0,0	0	79	1,0,1,0	1			
35	0,0,1,0	1	80	1,1,0,1	1			
36	0,0,0,1	1	81	0,0,1,1	1			
37	1,0,1,1	3	82	0,1,1,0	1			
38	0,0,1,1	1	83	1,0,1,0	1			
39	1,1,0,1	1	84	0,0,1,0	1			
40	1,0,0,1	1	85	0,0,0,0	0			
41	1,1,0,0	2	86	1,1,1,1	1			
42	1,1,1,0	1	87	0,1,0,0	1			
43	0,1,1,0	1	88	0,1,1,1	2			
44	1,1,0,1	2	89	1,1,1,0	1			
45	0,0,1,0	1	90	0,0,0,0	0			

EK-3. Duncan Testi Sonuçları

Duncan

T0	N	Subset
		1
5000,00	540	23,7722
9000,00	540	23,7889
1000,00	540	23,8148
Sig.		,956

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean

Square(Error) = 139,199.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 540,000.

b. Alpha = ,05.

(a) T_0 değerleri

Duncan

alfa	N	Subset
		1
,99	540	23,4426
,95	540	23,8537
,90	540	24,0796
Sig.		,407

Means for groups in

homogeneous subsets are

displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean

Square(Error) = 139,199.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 540,000.

b. Alpha = ,05.

(c) α değerleri

Duncan

Tmin	N	Subset
		1
,001	540	23,4426
,010	540	23,9130
,100	540	24,0204
Sig.		,452

Means for groups in

homogeneous subsets are

displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean

Square(Error) = 139,199.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 540,000.

b. Alpha = ,05.

(b) $T_{\min}$ değerleri

Şekil 3.1. Kaynak sayısı için Duncan testi sonuçları

EK-3 (devam) Duncan testi sonuçları

Duncan^{a,b}

T0	N	Subset
		1
5000,00	540	13,0481
9000,00	540	13,0611
1000,00	540	13,0667
Sig.		,965

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square (Error) = 40,487.

a. Uses Harmonic Mean
Sample Size = 540,000.

b. Alpha = ,05.

Duncan^{a,b}

Tmin	N	Subset
		1
,001	540	13,0500
,010	540	13,0519
,100	540	13,0741
Sig.		,954

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 40,487.

a. Uses Harmonic
Mean Sample Size =
540,000.

b. Alpha = ,05.

(a) T₀ değerleriDuncan^{a,b}

alfa	N	Subset
		1
,99	540	13,0056
,95	540	13,0630
,90	540	13,1074
Sig.		,807

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 40,487.

a. Uses Harmonic
Mean Sample Size =
540,000.

b. Alpha = ,05.

(b) T_{min} değerleri(c) α değerleri

Şekil 3.2. İstasyon sayısı için Duncan testi sonuçları

EK-3 (devam) Duncan testi sonuçları

Duncan^{a,b}

T ₀	N	Subset
		1
9000,00	900	12,8880124
7000,00	900	12,8927051
3000,00	900	12,9039519
5000,00	900	12,9082019
1000,00	900	12,9310410
Sig.		,897

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 36,991.

a. Uses Harmonic Mean
Sample Size = 900,000.

b. Alpha = 0,05.

Duncan^{a,b}

T _{min}	N	Subset
		1
,10	900	12,8688748
,01	900	12,8713697
1,00	900	12,8991430
10,00	900	12,9143513
100,00	900	12,9701734
Sig.		,760

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 36,991.

a. Uses Harmonic Mean
Sample Size = 900,000.

b. Alpha = 0,05.

(a) T₀ değerleri

(b) T_{min} değerleri

Duncan^{a,b}

alfa	N	Subset
		1
,99	1500	12,8314668
,95	1500	12,9002253
,90	1500	12,9826553
Sig.		,525

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 36,991.

a. Uses Harmonic Mean
Sample Size = 1500,000.

b. Alpha = 0,05.

(c) α değerleri

Şekil 3.3. Amaç fonksiyon değerleri için Duncan testi sonuçları

EK-3 (devam) Duncan testi sonuçları

Duncan		
T0	N	Subset
		1
1000,00	540	23,3833
5000,00	540	26,5963
9000,00	540	27,7944
Sig.		,188

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean

Square(Error) = 2673,501.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 540,000.

b. Alpha = ,05.

Duncan			
Tmin	N	Subset	
		1	2
,100	540	21,4796	
,010	540	25,8111	25,8111
,001	540		30,4833
Sig.		,169	,138

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2673,501.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 540,000.

b. Alpha = ,05.

(a) T_0 değerleri

(b) $T_{\min}$ değerleri

Duncan			
alfa	N	Subset	
		1	2
,90	540	5,8870	
,95	540	11,9889	
,99	540		59,8981
Sig.		,053	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2673,501.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 540,000.

b. Alpha = ,05.

(c) α değerleri

Şekil 3.4. Çalışma süre değerleri için Duncan testi sonuçları

EK-4. Problem seti-1 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar

Problem	n	C	Alt sınır						Problem seti-1						% sapma											
									Önerilen TB			Matematiksel model			Önerilen TB			Matematiksel model			Genel kaynak			Kaynak paylaşım		
			m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç
Mertens	7	6	5	6	5,21	6	7	6,24	6	7	6,24	6	7	6,24	6	7	6,24	-16,67	-14,29	-16,57	-16,67	-14,29	-16,57	-16,67	-14,29	-16,57
Mertens	7	7	5	5	5,17	5	6	5,21	5	7	5,24	5	6	5,21	5	6	5,21	0,00	-16,67	-0,66	0,00	-28,57	-1,32	0,00	-16,67	-0,66
Mertens	7	9	4	4	4,14	4	5	4,17	4	5	4,17	4	5	4,17	4	5	4,17	0,00	-20,00	-0,83	0,00	-20,00	-0,83	0,00	-20,00	-0,83
Mertens	7	10	3	4	3,14	3	4	3,14	3	4	3,14	3	4	3,14	3	4	3,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mertens	7	11	3	3	3,10	3	4	3,14	3	4	3,14	3	4	3,14	3	4	3,14	0,00	-25,00	-1,10	0,00	-25,00	-1,10	0,00	-25,00	-1,10
Mertens	7	15	2	3	2,10	2	3	2,10	2	4	2,14	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	-25,00	-1,61	0,00	0,00	0,00
Mertens	7	16	2	3	2,10	2	3	2,10	2	4	2,14	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	-25,00	-1,61	0,00	0,00	0,00
Mertens	7	17	2	2	2,07	2	3	2,10	2	4	2,14	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00	-33,33	-1,64	0,00	-50,00	-3,23	0,00	-33,33	-1,64
Mertens	7	20	2	2	2,07	2	3	2,10	2	3	2,10	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00	-33,33	-1,64	0,00	-33,33	-1,64	0,00	-33,33	-1,64
Mertens	7	21	2	2	2,07	2	3	2,10	2	3	2,10	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00	-33,33	-1,64	0,00	-33,33	-1,64	0,00	-33,33	-1,64
Jackson	11	8	6	5	6,11	7	6	7,13	7	7	7,16	7	6	7,13	7	6	7,13	-14,29	-16,67	-14,33	-14,29	-28,57	-14,60	-14,29	-16,67	-14,33
Jackson	11	10	5	4	5,09	5	5	5,11	5	6	5,13	5	5	5,11	5	5	5,11	0,00	-20,00	-0,43	0,00	-33,33	-0,87	0,00	-20,00	-0,43
Jackson	11	12	4	4	4,09	4	5	4,11	4	6	4,13	4	5	4,11	4	5	4,11	0,00	-20,00	-0,54	0,00	-33,33	-1,08	0,00	-20,00	-0,54
Jackson	11	13	4	3	4,07	4	4	4,09	4	5	4,11	4	4	4,09	4	4	4,09	0,00	-25,00	-0,54	0,00	-40,00	-1,08	0,00	-25,00	-0,54
Jackson	11	14	4	3	4,07	4	4	4,09	4	5	4,11	4	4	4,09	4	4	4,09	0,00	-25,00	-0,54	0,00	-40,00	-1,08	0,00	-25,00	-0,54
Jackson	11	16	3	3	3,07	3	4	3,09	3	5	3,11	3	4	3,09	3	4	3,09	0,00	-25,00	-0,72	0,00	-40,00	-1,43	0,00	-25,00	-0,72
Jackson	11	18	3	3	3,07	3	3	3,07	3	4	3,09	3	3	3,07	3	3	3,07	0,00	0,00	0,00	0,00	-25,00	-0,72	0,00	0,00	0,00
Jackson	11	19	3	2	3,04	3	3	3,07	3	4	3,09	3	3	3,07	3	3	3,07	0,00	-33,33	-0,72	0,00	-50,00	-1,44	0,00	-33,33	-0,72
Jackson	11	21	3	2	3,04	3	2	3,04	3	3	3,07	3	2	3,04	3	2	3,04	0,00	0,00	0,00	0,00	-33,33	-0,72	0,00	0,00	0,00
Jackson	11	23	2	2	2,04	2	2	2,04	2	4	2,09	2	2	2,04	2	2	2,04	0,00	0,00	0,00	0,00	-50,00	2,13	0,00	0,00	0,00

EK-4. (devam) Problem seti-1 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar

Problem	n	C	Alt sınır						Problem seti-1						% sapma								
			Önerilen TB			Matematiksel model						Önerilen TB			Matematiksel model								
						Genel kaynak			Kaynak paylaşım						Genel kaynak			Kaynak paylaşım					
			m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç
Mitchell	21	14	8	10	8,12	8	13	8,15	8	14	8,16	8	13	8,15	0,00	-23,08	-0,43	0,00	-28,57	-0,58	0,00	-23,08	-0,43
Mitchell	21	18	6	8	6,09	6	10	6,12	6	12	6,14	6	10	6,12	0,00	-20,00	-0,38	0,00	-33,33	-0,77	0,00	-20,00	-0,38
Mitchell	21	21	5	7	5,08	5	9	5,11	5	13	5,15	5	9	5,11	0,00	-22,22	-0,46	0,00	-46,15	-1,37	0,00	-22,22	-0,46
Mitchell	21	26	5	6	5,07	5	9	5,11	5	10	5,12	5	7	5,08	0,00	-33,33	-0,69	0,00	-40,00	-0,92	0,00	-14,29	-0,23
Mitchell	21	28	4	5	4,06	4	7	4,08	4	9	4,11	4	6	4,07	0,00	-28,57	-0,58	0,00	-44,44	-1,15	0,00	-16,67	-0,29
Mitchell	21	35	3	4	3,05	3	6	3,07	3	9	3,11	3	5	3,06	0,00	-33,33	-0,77	0,00	-55,56	-1,89	0,00	-20,00	-0,38
Mitchell	21	39	3	4	3,05	3	6	3,07	3	8	3,09	3	4	3,05	0,00	-33,33	-0,77	0,00	-50,00	-1,52	0,00	0,00	0,00
Mitchell	21	46	3	3	3,04	3	5	3,06	3	7	3,08	3	4	3,05	0,00	-40,00	-0,77	0,00	-57,14	-1,53	0,00	-25,00	-0,39
Mitchell	21	52	3	3	3,04	3	4	3,05	3	6	3,07	3	4	3,05	0,00	-25,00	-0,39	0,00	-50,00	-1,15	0,00	-25,00	-0,39
Mitchell	21	55	2	3	2,04	2	4	2,05	2	6	2,07	2	4	2,05	0,00	-25,00	-0,57	0,00	-50,00	-1,70	0,00	-25,00	-0,57
Roszieg	25	16	8	11	8,11	8	15	8,15	8	17	8,17	8	13	8,13	0,00	-26,67	-0,49	0,00	-35,29	-0,73	0,00	-15,38	-0,24
Roszieg	25	18	7	10	7,10	8	14	8,14	8	15	8,15	8	12	8,12	-12,50	-28,57	-12,77	-12,50	-33,33	-12,88	-12,50	-16,67	-12,56
Roszieg	25	22	6	8	6,08	6	12	6,12	6	13	6,13	6	10	6,10	0,00	-33,33	-0,65	0,00	-38,46	-0,81	0,00	-20,00	-0,32
Roszieg	25	25	5	7	5,07	6	10	6,10	6	11	6,11	6	8	6,08	-16,67	-30,00	-16,88	-16,67	-36,36	-17,02	-16,67	-12,50	-16,61
Roszieg	25	32	4	6	4,06	4	9	4,09	4	11	4,11	4	7	4,07	0,00	-33,33	-0,73	0,00	-45,45	-1,20	0,00	-14,29	-0,24
Roszieg	25	44	3	4	3,04	3	7	3,07	3	9	3,09	3	6	3,06	0,00	-42,86	-0,97	0,00	-55,56	-1,60	0,00	-33,33	-0,65
Roszieg	25	50	3	4	3,04	3	6	3,06	3	8	3,08	3	5	3,05	0,00	-33,33	-0,65	0,00	-50,00	-1,29	0,00	-20,00	-0,32
Roszieg	25	55	3	4	3,04	3	6	3,06	3	8	3,08	3	5	3,05	0,00	-33,33	-0,65	0,00	-50,00	-1,29	0,00	-20,00	-0,32
Roszieg	25	60	3	3	3,03	3	5	3,05	3	7	3,07	3	5	3,05	0,00	-40,00	-0,65	0,00	-57,14	-1,29	0,00	-40,00	-0,65
Roszieg	25	65	2	3	2,03	2	4	2,04	2	7	2,07	2	4	2,04	0,00	-25,00	-0,49	0,00	-57,14	-1,91	0,00	-25,00	-0,49

EK-4. (devam) Problem seti-1 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar

Problem	n	C	Problem seti-1												% sapma											
			Alt sınır						Önerilen TB						Matematiksel model						Önerilen TB					
			m			k			amaç			m			Genel kaynak			k			amaç			m		
			13	15	13,13	14	21	14,18	14	27	14,23	14	24	14,21	Genel kaynak	Kaynak paylaşımı	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç
Buxey	29	25	13	15	13,13	14	21	14,18	14	27	14,23	14	24	14,21			-7,41	-7,14	-44,44	-7,75	-7,14	-44,44	-7,75	-7,14	-37,50	-7,58
Buxey	29	27	12	14	12,12	13	19	13,16	13	24	13,21	13	21	13,18			-7,92	-7,69	-41,67	-8,22	-7,69	-41,67	-8,22	-7,69	-33,33	-8,04
Buxey	29	30	11	12	11,10	12	19	12,16	12	22	12,19	12	20	12,17			-8,71	-8,33	-45,45	-8,91	-8,33	-45,45	-8,91	-8,33	-40,00	-8,78
Buxey	29	33	10	11	10,09	11	17	11,15	11	20	11,17	11	18	11,15			-9,43	-9,09	-45,00	-9,64	-9,09	-45,00	-9,64	-9,09	-38,89	-9,50
Buxey	29	39	9	10	9,09	9	14	9,12	9	19	9,16	9	16	9,14			-0,37	0,00	-47,37	-0,84	0,00	-47,37	-0,84	0,00	-37,50	-0,56
Buxey	29	42	8	9	8,08	8	12	8,10	8	18	8,15	8	14	8,12			-0,32	0,00	-50,00	-0,94	0,00	-50,00	-0,94	0,00	-35,71	-0,53
Buxey	29	50	7	8	7,07	7	11	7,09	7	15	7,13	7	12	7,10			-0,36	0,00	-46,67	-0,84	0,00	-46,67	-0,84	0,00	-33,33	-0,48
Buxey	29	54	6	7	6,06	7	10	7,09	7	15	7,13	7	10	7,09			-14,48	-14,29	-53,33	-14,99	-14,29	-53,33	-14,99	-14,29	-30,00	-14,48
Buxey	29	58	6	7	6,06	6	10	6,09	6	15	6,13	6	10	6,09			-0,42	0,00	-53,33	-1,12	0,00	-53,33	-1,12	0,00	-30,00	-0,42
Buxey	29	60	6	6	6,05	6	10	6,09	6	14	6,12	6	10	6,09			-0,56	0,00	-57,14	-1,12	0,00	-57,14	-1,12	0,00	-40,00	-0,56
Sawyer	30	25	13	13	13,11	14	17	14,14	14	22	14,18	14	21	14,17			-7,31	-7,14	-40,91	-7,58	-7,14	-40,91	-7,58	-7,14	-38,10	-7,52
Sawyer	30	30	11	11	11,09	12	15	12,12	12	22	12,18	12	16	12,13			-8,52	-8,33	-50,00	-8,96	-8,33	-50,00	-8,96	-8,33	-31,25	-8,58
Sawyer	30	36	9	9	9,07	10	13	10,11	10	13	10,11	10	13	10,11			-10,22	-10,00	-30,77	-10,22	-10,00	-30,77	-10,22	-10,00	-30,77	-10,22
Sawyer	30	41	8	8	8,07	8	12	8,10	8	17	8,14	8	12	8,10			-0,41	0,00	-52,94	-0,91	0,00	-52,94	-0,91	0,00	-33,33	-0,41
Sawyer	30	47	7	7	7,06	8	10	8,08	7	18	7,15	7	18	7,15			-12,68	-12,50	-61,11	-1,27	0,00	-61,11	-1,27	0,00	-61,11	-1,27
Sawyer	30	50	7	7	7,06	7	10	7,08	7	14	7,12	7	10	7,08			-0,35	0,00	-50,00	-0,81	0,00	-50,00	-0,81	0,00	-30,00	-0,35
Sawyer	30	55	6	6	6,05	6	9	6,07	6	13	6,11	6	10	6,08			-0,41	0,00	-53,85	-0,95	0,00	-53,85	-0,95	0,00	-40,00	-0,54
Sawyer	30	65	5	5	5,04	5	9	5,07	5	13	5,11	5	9	5,07			-0,65	0,00	-61,54	-1,29	0,00	-61,54	-1,29	0,00	-44,44	-0,65
Sawyer	30	72	5	5	5,04	5	7	5,06	5	10	5,08	5	7	5,06			-0,33	0,00	-50,00	-0,81	0,00	-50,00	-0,81	0,00	-28,57	-0,33
Sawyer	30	82	4	4	4,03	4	7	4,06	4	10	4,08	4	7	4,06			-0,61	0,00	-60,00	-1,21	0,00	-60,00	-1,21	0,00	-42,86	-0,61

EK-4. (devam) Problem seti-1 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar

Problem	n	C	Problem seti-1												% sapma											
			Alt sınır						Önerilen TB						Matematiksel model						Önerilen TB					
			m			k			amaç			Genel kaynak			Matematiksel model			Genel kaynak			Önerilen TB			Matematiksel model		
			m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç
Gunther	35	44	11	15	11,11	12	20	12,14	12	24	12,17	12	20	12,14	8,33	-8,33	-8,53	8,33	-37,50	-8,74	8,33	-25,00	-8,53	8,33	-25,00	-8,53
Gunther	35	50	10	14	10,10	10	18	10,13	10	24	10,17	10	17	10,12	0,00	-22,22	-0,28	0,00	-41,67	-0,70	0,00	-17,65	-0,21	0,00	-17,65	-0,21
Gunther	35	55	9	12	9,09	9	18	9,13	10	21	10,15	9	19	9,13	0,00	-33,33	-0,47	-10,00	-42,86	-10,48	0,00	-36,84	-0,54	0,00	-36,84	-0,54
Gunther	35	60	9	11	9,08	9	15	9,11	9	19	9,13	9	16	9,11	0,00	-26,67	-0,31	0,00	-42,11	-0,62	0,00	-31,25	-0,39	0,00	-31,25	-0,39
Gunther	35	75	7	9	7,06	7	14	7,10	7	16	7,11	8	16	8,11	0,00	-35,71	-0,50	0,00	-43,75	-0,70	-12,50	-43,75	-12,94	0,00	-43,75	-12,94
Gunther	35	80	7	9	7,06	7	12	7,09	7	15	7,11	7	13	7,09	0,00	-25,00	-0,30	0,00	-40,00	-0,60	0,00	-30,77	-0,40	0,00	-30,77	-0,40
Gunther	35	85	6	8	6,06	6	11	6,08	6	15	6,11	6	11	6,08	0,00	-27,27	-0,35	0,00	-46,67	-0,81	0,00	-27,27	-0,35	0,00	-27,27	-0,35
Gunther	35	90	6	8	6,06	6	11	6,08	6	13	6,09	6	11	6,08	0,00	-27,27	-0,35	0,00	-38,46	-0,58	0,00	-27,27	-0,35	0,00	-27,27	-0,35
Gunther	35	95	6	7	6,05	6	11	6,08	6	14	6,10	6	8	6,06	0,00	-36,36	-0,47	0,00	-50,00	-0,81	0,00	-12,50	-0,12	0,00	-12,50	-0,12
Gunther	35	144	4	5	4,04	4	8	4,06	4	11	4,08	4	6	4,04	0,00	-37,50	-0,52	0,00	-54,55	-1,04	0,00	-16,67	-0,18	0,00	-16,67	-0,18
Kilbridge	45	56	10	10	10,06	10	16	10,09	15	24	15,13	15	23	15,13	0,00	-37,50	-0,33	-33,33	-33,33	-33,55	-33,33	-56,52	-33,53	-33,33	-56,52	-33,53
Kilbridge	45	62	9	9	9,05	9	16	9,09	15	29	15,16	10	29	10,16	0,00	-43,75	-0,43	-40,00	-68,97	-40,31	-10,00	-68,97	-10,93	-10,00	-68,97	-10,93
Kilbridge	45	80	7	7	7,04	7	11	7,06	7	21	7,12	7	21	7,12	0,00	-36,36	-0,31	0,00	-66,67	-1,09	0,00	-66,67	-1,09	0,00	-66,67	-1,09
Kilbridge	45	90	7	6	7,03	7	10	7,06	8	19	8,10	8	14	8,08	0,00	-40,00	-0,31	-12,50	-68,42	-13,22	-12,50	-57,14	-12,93	-12,50	-57,14	-12,93
Kilbridge	45	110	6	5	6,03	6	12	6,07	6	17	6,09	6	17	6,09	0,00	-58,33	-0,64	0,00	-70,59	-1,09	0,00	-70,59	-1,09	0,00	-70,59	-1,09
Kilbridge	45	112	5	5	5,03	5	9	5,05	5	14	5,08	5	12	5,07	0,00	-44,44	-0,44	0,00	-64,29	-0,98	0,00	-58,33	-0,76	0,00	-58,33	-0,76
Kilbridge	45	124	5	5	5,03	5	9	5,05	5	14	5,08	5	9	5,05	0,00	-44,44	-0,44	0,00	-64,29	-0,98	0,00	-44,44	-0,44	0,00	-44,44	-0,44
Kilbridge	45	138	4	4	4,02	4	9	4,05	5	14	5,08	5	9	5,05	0,00	-55,56	-0,68	-20,00	-71,43	-20,78	-20,00	-55,56	-20,35	-20,00	-55,56	-20,35
Kilbridge	45	150	4	4	4,02	4	7	4,04	4	11	4,06	4	10	4,06	0,00	-42,86	-0,41	0,00	-63,64	-0,95	0,00	-60,00	-0,82	0,00	-60,00	-0,82
Kilbridge	45	184	3	3	3,02	3	7	3,04	3	9	3,05	3	9	3,05	0,00	-57,14	-0,73	0,00	-66,67	-1,09	0,00	-66,67	-1,09	0,00	-66,67	-1,09

EK-5. Problem seti-2 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar

Problem	n	C	Problem seti-2										% sapma													
			Alt sınır			Önerilen TB			Matematiksel model				Önerilen TB			Matematiksel model										
									Genel kaynak		Kaynak paylaşımli					Genel kaynak		Kaynak paylaşımli								
			m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç			
Mertens	7	6	5	6	5,21	6	6	6,21	6	6	6,21	6	6	6,21	-16,67	0,00	-16,11	-16,67	0,00	-16,11	-16,67	0,00	0,00	-16,67	0,00	-16,11
Mertens	7	7	5	5	5,17	5	6	5,21	5	7	5,24	5	6	5,21	0,00	-16,67	-0,66	0,00	-16,67	-1,32	0,00	-16,67	0,00	-16,67	0,00	-0,66
Mertens	7	9	4	4	4,14	4	5	4,17	4	5	4,17	4	5	4,17	0,00	-20,00	-0,83	0,00	-20,00	-0,83	0,00	-20,00	0,00	-20,00	0,00	-0,83
Mertens	7	10	3	4	3,14	3	5	3,17	3	5	3,17	3	5	3,17	0,00	-20,00	-1,09	0,00	-20,00	-1,09	0,00	-20,00	0,00	-20,00	0,00	-1,09
Mertens	7	11	3	3	3,10	3	4	3,14	3	4	3,14	3	4	3,14	0,00	-25,00	-1,10	0,00	-25,00	-1,10	0,00	-25,00	0,00	-25,00	0,00	-1,10
Mertens	7	15	2	3	2,10	2	3	2,10	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mertens	7	16	2	2	2,07	2	3	2,10	2	3	2,10	2	3	2,10	0,00	-33,33	-1,64	0,00	-33,33	-1,64	0,00	-33,33	0,00	-33,33	0,00	-1,64
Mertens	7	17	2	2	2,07	2	2	2,07	2	3	2,10	2	2	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mertens	7	20	2	2	2,07	2	2	2,07	2	3	2,10	2	2	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mertens	7	21	2	2	2,07	2	2	2,07	2	3	2,10	2	2	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jackson	11	8	6	5	6,11	7	7	7,16	7	7	7,16	7	7	7,16	-14,29	-28,57	-14,60	-14,29	-28,57	-14,60	-14,29	-28,57	-14,29	-28,57	-14,60	-14,60
Jackson	11	10	5	4	5,09	5	7	5,16	5	7	5,16	5	7	5,16	0,00	-42,86	-1,29	0,00	-42,86	-1,29	0,00	-42,86	0,00	-42,86	0,00	-1,29
Jackson	11	12	4	4	4,09	4	5	4,11	4	6	4,13	4	5	4,11	0,00	-20,00	-0,54	0,00	-20,00	-0,54	0,00	-20,00	0,00	-20,00	0,00	-0,54
Jackson	11	13	4	3	4,07	4	5	4,11	4	6	4,13	4	5	4,11	0,00	-40,00	-1,08	0,00	-40,00	-1,08	0,00	-40,00	0,00	-40,00	0,00	-1,08
Jackson	11	14	4	3	4,07	4	5	4,11	4	6	4,13	4	5	4,11	0,00	-40,00	-1,08	0,00	-40,00	-1,08	0,00	-40,00	0,00	-40,00	0,00	-1,08
Jackson	11	16	3	3	3,07	3	4	3,09	3	6	3,13	3	4	3,09	0,00	-25,00	-0,72	0,00	-25,00	-0,72	0,00	-25,00	0,00	-25,00	0,00	-0,72
Jackson	11	18	3	3	3,07	3	4	3,09	3	5	3,11	3	4	3,09	0,00	-25,00	-0,72	0,00	-25,00	-0,72	0,00	-25,00	0,00	-25,00	0,00	-0,72
Jackson	11	19	3	3	3,07	3	4	3,09	3	5	3,11	3	4	3,09	0,00	-25,00	-0,72	0,00	-25,00	-0,72	0,00	-25,00	0,00	-25,00	0,00	-0,72
Jackson	11	21	3	2	3,04	3	4	3,09	3	5	3,11	3	4	3,09	0,00	-50,00	-1,44	0,00	-60,00	-2,14	0,00	-50,00	0,00	-50,00	0,00	-1,44
Jackson	11	23	2	2	2,04	2	4	2,09	2	5	2,11	2	4	2,09	0,00	-50,00	-2,13	0,00	-60,00	-3,16	0,00	-50,00	0,00	-50,00	0,00	-2,13

EK-5. (devam) Problem seti-2 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar

Problem	n	C	Problem seti-2												% sapma											
			Alt sınır						Önerilen TB						Önerilen TB						Matematiksel model					
			m			k			amaç			m			k			amaç			Genel kaynak			Kaynak paylaşımlı		
			m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç
Buxey	29	25	13	16	13,14	14	20	14,17	14	21	14,18	14	20	14,17	-7,14	-20,00	-7,30	-7,14	-23,81	-7,35	-7,14	-20,00	-7,30	-23,81	-7,35	-7,14
Buxey	29	27	12	14	12,12	13	17	13,15	13	19	13,16	13	17	13,15	-7,69	-17,65	-7,86	-7,69	-26,32	-7,92	-7,69	-17,65	-7,80	-26,32	-7,92	-7,69
Buxey	29	30	11	13	11,11	12	17	12,15	12	19	12,16	12	17	12,15	-8,33	-23,53	-8,52	-8,33	-31,58	-8,64	-8,33	-23,53	-8,52	-31,58	-8,64	-8,33
Buxey	29	33	10	12	10,10	11	15	11,13	11	16	11,14	11	15	11,13	-9,09	-20,00	-9,22	-9,09	-25,00	-9,29	-9,09	-20,00	-9,22	-25,00	-9,29	-9,09
Buxey	29	39	9	10	9,09	9	13	9,11	9	15	9,13	9	12	9,10	0,00	-23,08	-0,28	0,00	-33,33	-0,47	0,00	-16,67	-0,19	-33,33	-0,47	0,00
Buxey	29	42	8	9	8,08	8	12	8,10	8	14	8,12	8	11	8,09	0,00	-25,00	-0,32	0,00	-35,71	-0,53	0,00	-18,18	-0,21	-35,71	-0,53	0,00
Buxey	29	50	7	8	7,07	7	11	7,09	7	12	7,10	7	10	7,09	0,00	-27,27	-0,36	0,00	-33,33	-0,48	0,00	-20,00	-0,24	-33,33	-0,48	0,00
Buxey	29	54	6	7	6,06	7	10	7,09	7	12	7,10	7	9	7,08	-14,29	-30,00	-14,48	-14,29	-41,67	-14,68	-14,29	-22,22	-14,37	-41,67	-14,68	-14,29
Buxey	29	58	6	7	6,06	6	9	6,08	6	12	6,10	6	9	6,08	0,00	-22,22	-0,28	0,00	-41,67	-0,70	0,00	-22,22	-0,28	-41,67	-0,70	0,00
Buxey	29	60	6	7	6,06	6	10	6,09	6	12	6,10	6	8	6,07	0,00	-30,00	-0,42	0,00	-41,67	-0,70	0,00	-12,50	-0,14	-41,67	-0,70	0,00
Sawyer	30	25	13	17	13,14	14	22	14,18	14	24	14,20	14	20	14,17	-7,14	-22,73	-7,34	-7,14	-29,17	-7,45	-7,14	-15,00	-7,23	-29,17	-7,45	-7,14
Sawyer	30	30	11	14	11,12	12	18	12,15	12	21	12,17	12	18	12,15	-8,33	-22,22	-8,50	-8,33	-33,33	-8,69	-8,33	-22,22	-8,50	-33,33	-8,69	-8,33
Sawyer	30	36	9	12	9,10	10	16	10,13	10	20	10,17	10	14	10,12	-10,00	-25,00	-10,20	-10,00	-40,00	-10,49	-10,00	-14,29	-10,05	-40,00	-10,49	-10,00
Sawyer	30	41	8	11	8,09	8	16	8,13	8	17	8,14	8	17	8,14	0,00	-31,25	-0,51	0,00	-35,29	-0,61	0,00	-35,29	-0,61	-35,29	-0,61	0,00
Sawyer	30	47	7	9	7,07	8	12	8,10	7	17	7,14	7	13	7,11	-12,50	-25,00	-12,65	0,00	-47,06	-0,93	0,00	-30,77	-0,47	-47,06	-0,93	0,00
Sawyer	30	50	7	9	7,07	7	12	7,10	7	15	7,12	7	11	7,09	0,00	-25,00	-0,35	0,00	-40,00	-0,70	0,00	-18,18	-0,23	-40,00	-0,70	0,00
Sawyer	30	55	6	8	6,07	6	12	6,10	6	13	6,11	6	10	6,08	0,00	-33,33	-0,54	0,00	-38,46	-0,68	0,00	-20,00	-0,27	-38,46	-0,68	0,00
Sawyer	30	65	5	7	5,06	5	9	5,07	5	13	5,11	5	9	5,07	0,00	-22,22	-0,33	0,00	-46,15	-0,97	0,00	-22,22	-0,33	-46,15	-0,97	0,00
Sawyer	30	72	5	6	5,05	5	9	5,07	5	10	5,08	5	7	5,06	0,00	-33,33	-0,49	0,00	-40,00	-0,65	0,00	-14,29	-0,16	-40,00	-0,65	0,00
Sawyer	30	82	4	6	4,05	4	7	4,06	4	10	4,08	4	7	4,06	0,00	-14,29	-0,20	0,00	-40,00	-0,81	0,00	-14,29	-0,20	-40,00	-0,81	0,00

EK-5. (devam) Problem seti-2 matematiksel model ve önerilen TB için alt sınırdan sapmalar

Problem	n	C	Problem seti-2												% sapma																	
			Alt sınır						Önerilen TB						Matematiksel model						Önerilen TB						Matematiksel model					
			Önerilen TB			Genel kaynak			Kaynak paylaşımı			Genel kaynak			Kaynak paylaşımı																	
m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç	m	k	amaç									
Gunther	35	44	11	15	11,11	12	20	12,14	12	27	12,19	12	19	12,13	-8,33	-25,00	-8,53	-8,33	-44,44	-8,90	-8,33	-8,33	-21,05	-8,47								
Gunther	35	50	10	13	10,09	10	15	10,11	10	22	10,16	10	17	10,12	0,00	-13,33	-0,14	0,00	-40,91	-0,63	0,00	0,00	-23,53	-0,28								
Gunther	35	55	9	12	9,09	9	15	9,11	9	21	9,15	9	17	9,12	0,00	-20,00	-0,23	0,00	-42,86	-0,70	0,00	0,00	-29,41	-0,39								
Gunther	35	60	9	11	9,08	9	14	9,10	10	24	10,17	9	15	9,11	0,00	-21,43	-0,23	-10,00	-54,17	-10,74	0,00	0,00	-26,67	-0,31								
Gunther	35	75	7	9	7,06	7	12	7,09	7	18	7,13	7	14	7,10	0,00	-25,00	-0,30	0,00	-50,00	-0,90	0,00	0,00	-35,71	-0,50								
Gunther	35	80	7	8	7,06	7	11	7,08	7	19	7,13	7	14	7,10	0,00	-27,27	-0,30	0,00	-57,89	-1,09	0,00	0,00	-42,86	-0,60								
Gunther	35	85	6	8	6,06	6	11	6,08	6	16	6,11	6	11	6,08	0,00	-27,27	-0,35	0,00	-50,00	-0,93	0,00	0,00	-27,27	-0,35								
Gunther	35	90	6	8	6,06	6	11	6,08	6	18	6,13	6	11	6,08	0,00	-27,27	-0,35	0,00	-55,56	-1,16	0,00	0,00	-27,27	-0,35								
Gunther	35	95	6	7	6,05	6	11	6,08	6	15	6,11	6	13	6,09	0,00	-36,36	-0,47	0,00	-53,33	-0,93	0,00	0,00	-46,15	-0,70								
Gunther	35	144	4	5	4,04	4	8	4,06	4	11	4,08	4	8	4,06	0,00	-37,50	-0,52	0,00	-54,55	-1,04	0,00	0,00	-37,50	-0,52								
Kilbridge	45	56	10	12	10,07	10	18	10,10	11	34	11,19	11	25	11,14	0,00	-33,33	-0,33	-9,09	-64,71	-10,02	-9,09	-52,00	-9,62									
Kilbridge	45	62	9	11	9,06	9	19	9,10	10	23	10,13	10	20	10,11	0,00	-42,11	-0,49	-10,00	-52,17	-10,53	-10,00	-45,00	-10,38									
Kilbridge	45	80	7	8	7,04	7	14	7,08	7	18	7,10	7	17	7,09	0,00	-42,86	-0,47	0,00	-55,56	-0,78	0,00	0,00	-52,94	-0,70								
Kilbridge	45	90	7	8	7,04	7	12	7,07	9	23	9,13	9	23	9,13	0,00	-33,33	-0,31	-22,22	-65,22	-22,82	-22,22	-65,22	-22,82									
Kilbridge	45	110	6	6	6,03	6	10	6,06	6	17	6,09	6	14	6,08	0,00	-40,00	-0,36	0,00	-64,71	-1,00	0,00	0,00	-57,14	-0,73								
Kilbridge	45	112	5	6	5,03	5	11	5,06	5	15	5,08	5	10	5,06	0,00	-45,45	-0,55	0,00	-60,00	-0,98	0,00	0,00	-40,00	-0,44								
Kilbridge	45	124	5	6	5,03	5	10	5,06	5	16	5,09	5	11	5,06	0,00	-40,00	-0,44	0,00	-62,50	-1,09	0,00	0,00	-45,45	-0,55								
Kilbridge	45	138	4	5	4,03	4	9	4,05	5	13	5,07	5	10	5,06	0,00	-44,44	-0,55	-20,00	-61,54	-20,59	-20,00	-50,00	-20,33									
Kilbridge	45	150	4	5	4,03	4	8	4,04	4	13	4,07	4	13	4,07	0,00	-37,50	-0,41	0,00	-61,54	-1,09	0,00	0,00	-61,54	-1,09								
Kilbridge	45	184	3	4	3,02	3	7	3,04	3	10	3,06	3	9	3,05	0,00	-42,86	-0,55	0,00	-60,00	-1,08	0,00	0,00	-55,56	-0,91								

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SÖYLEMEZ, İsmet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1988, Burdur
 Medeni hali : Evli
 e-mail : ismetsoylemez@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Erciyes Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2013
Lisans	Erciyes Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Abdullah Gül Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-2018	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011-2013	Erciyes Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011-2011	Abdullah Gül Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Delice, Y., Aydoğan, E. K., Söylemez, İ., and Özcan, U. (2018). An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided U-type assembly lines with sequence-dependent set-up times. *Sādhanā*, 43(12), 199-214.

Hobiler

Futbol, masa tenisi, doğa yürüyüş



GAZİ GELECEKTİR..