

**STOKASTİK
PARALEL MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ
İÇİN YENİ MODELLER**

HAKAN ÇERÇİOĞLU

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2009

ANKARA

Hakan ÇERÇİOĞLU tarafından hazırlanan STOKASTİK PARALEL MHD PROBLEMİ İÇİN YENİ MODELLER adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Tez Danışmanı, Endüstri Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üni.
Prof. Dr. Bilal TOKLU
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üni.
Prof. Dr. Cevriye GENCER
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üni.
Doç. Dr. Abdullah EROĞLU
İşletme Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üni.
Doç. Dr. Burak BİRGÖREN
Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Kırıkkale Üni.

Tarih: 17/02/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hakan ÇERÇİOĞLU

**STOKASTİK PARALEL MONTAJ HATTI
DENGELEME PROBLEMİ İÇİN YENİ MODELLER
(Doktora Tezi)**

Hakan ÇERÇİOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2009**

ÖZET

Bu tezde, özdeş ya da birbirine benzer birden fazla hattın bulunduğu Stokastik Paralel MHD problemi, iki farklı amaç göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Bu amaçlardan ilki (Tip I), verilen bir çevrim zamanı ve görevlerin tamamlanmama olasılığı için istasyon sayısının en küçüklenmesidir. Bu problemin çözümü için şans kısıtlı bir matematiksel model geliştirilmiş, değişken sayısının azaltılması yoluyla modelin çözüm etkinliğinin artırılması amacıyla Stokastik Paralel Montaj Hatları için bazı tanımlamalar (K_{min} , E_i , L_i) yapılmıştır. Bunun yanı sıra, orta ve büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılabilecek bir sezgisel metot da çalışma kapsamında geliştirilmiştir. İncelenen ikinci amaç (Tip II), görevlerin tamamlanmama maliyetinin en küçüklenmesidir. Bu problem için de yeni bir sezgisel metot geliştirilmiş, sezgiselin etkinliği test problemleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada Şans Kısıtlı Matematiksel modellerin çözümünde GAMS paket programı, sezgisellerin kodlanmasında ise Borland C++ Builder 6.0 programlama dili kullanılmıştır.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Hat Dengeleme, Stokastik, Paralel Montaj Hatları
Sayfa Adedi : 168
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Bilal TOKLU

**NEW MODELS FOR THE STOCHASTIC PARALLEL
ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM
(Ph D. Thesis)**

Hakan ÇERÇİOĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2009**

ABSTRACT

This thesis investigates stochastic parallel assembly line balancing problem involving balancing of more than one identical or similar line. The thesis aims at two primary goals. The first goal (Type I), is the minimization of the number of station for a pre-determined cycle time and task incompleteness probability. For this problem, new chance-constraint mathematical models have been developed. By decreasing the number of variables for an improvement on solution efficiency of models, some definitions (K_{min} , E_i , L_i) have been introduced. Also, a heuristic has been developed for the solution of medium and large sized problems, and its performance has been analyzed with test problems. The second goal (Type II) is the minimization of task incompleteness cost. Also, a new heuristic has been developed for this problem and its performance has been analyzed with test problems for this goal. In this study, chance-constrained mathematical models have been solved with GAMS mathematical programming package, and the heuristics have been coded with the C++ language using Borland C++ Builder 6.0 compiler.

Science Code : 906.1.141

Key Words : Line Balancing, Stochastic, Parallel Assembly Lines

Page Number: 168

Adviser : Prof. Dr. Bilal TOKLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez hocam Sayın Prof. Dr. Bilal TOKLU'ya, araştırma süresince her türlü bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim Tez İzleme Komitesi Üyeleri sayın hocalarım Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN ve Doç. Dr. Burak BİRGÖREN'e, Endüstri Mühendisliği bölümünde görevli tüm hocalarıma, araştırma görevlisi arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve sevgili eşim Banu ÇERÇİOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. MHD PROBLEMİ	7
2.1. Üretim Kavramı, Üretim Tipleri ve Seri Üretim	7
2.2. MHD Problemi Tanım ve Gösterimleri	10
2.2.1. MHD Problemi Temel Kavramları	12
2.2.2. Montaj hattı düzenlemede temel prensipler	17
2.3. MHD Problemi ve Sınıflandırılması	18
2.3.1. Hat yerleşim tipine göre MHD problemleri	19
2.3.2. Görev Zamanlarına Göre MHD Problemleri	25
2.4. MH’de Paralellik Kavramı	28
2.4.1. Görevlerin paralelliği	29
2.4.2. İstasyonların paralelliği	30
2.4.3. Paralel istasyonların faydaları	31
2.4.4. Paralel istasyonların dezavantajları	31

	Sayfa
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	32
3.1. Stokastik Geleneksel MHD Problemi	32
3.2. Stokastik U Tipi MHD Problemi	36
3.3 Paralel MHD Problemi	38
4. STOKASTİK PARALEL MHD (SPMHD) PROBLEMİ İÇİN ŞANS KISITLI MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODELİ.....	40
4.1. Stokastik Paralel MHD Problemi için Şans Kısıtlı 0-1 Tamsayılı Programlama Modeli	42
4.1.1. SPMHD problemi şans kısıtlı modeli için doğrusal yaklaşım	45
4.1.2. SPMHD problemi şans kısıtlı modeli için doğrusal dönüşüm.....	46
4.2. Stokastik Paralel MHD Problemi için Teorik En küçük İstasyon Sayısı.....	50
4.3. Örnek Problem.....	56
4.4. SPMHD Şans Kısıtlı 0-1 Tamsayılı Programlama Modellerinin Değişken Sayısına Göre Karşılaştırılması.....	57
4.5. Test Problemi Sonuç ve Değerlendirilmesi	62
5. PARALEL STOKASTİK MHD PROBLEMİ İÇİN BİR SEZGİSEL YAKLAŞIM	67
5.1. Sezgisel Prosedür	67
5.1.1. Görev Seçim Kriterleri.....	71
5.2. Sezgisel Seçim Kriterlerinin Değerlendirilmesi	73
6. PARALEL STOKASTİK MHD PROBLEMİ İÇİN MALİYETE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM.....	85
6.1. Stokastik MHD Problemleri için Maliyet Fonksiyonları	85
6.2. Stokastik Paralel MHD Problemleri için Maliyete Yönelik Bir Sezgisel	87
6.3. Maliyete Yönelik Sezgisel İçin Test Problemi Sonuçları	90

Sayfa

7. SONUÇ VE ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR.....	99
EKLER.....	105
Ek-1 Test Problemi Üretimi	106
Ek-2. Değişken ve Kısıt Sayısı Tabloları.....	108
Ek-3. DDM ve DYM için test problemi sonuçları	112
Ek-4. “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları.....	117
Ek-5. Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar.....	146
ÖZGEÇMİŞ.....	168

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2. 1. Öncelik Matrisi.....	14
Çizelge 2. 2. Görev Zamanları	31
Çizelge 4. 1. Jackson probleminin Paralel hat dengeleme problemi için görev.....	56
Çizelge 4. 2. SPMHD problemi için değişken ve kısıt sayıları.....	58
Çizelge 4. 3. Değişken Sayısı ve Kısıt Sayısı tabloları.....	59
Çizelge 4. 4. Şans kısıtlı Matematiksel Model Test Sonuçları.....	63
Çizelge 5. 1. Sezgisel Yöntemlerin Test Problemleri için istasyon sonuçları (x=20000 iterasyon için).....	74
Çizelge 5. 2. Küçük boyutlu test problemleri için istasyon sayısı karşılaştırmaları...	78
Çizelge 5. 3. Küçük boyutlu test problemleri için iterasyon sayıları ile ilgili bilgiler.....	78
Çizelge 5. 4. Orta boyutlu test problemleri için istasyon sayısı karşılaştırmaları	79
Çizelge 5. 5. Orta boyutlu test problemleri için iterasyon sayıları ile ilgili bilgiler...	79
Çizelge 5. 6. Büyük boyutlu test problemleri için istasyon sayısı karşılaştırmaları...	80
Çizelge 5. 7. Büyük boyutlu test problemleri için iterasyon sayıları ile ilgili bilgiler.....	80
Çizelge 6. 1. MYS için istasyon sayılarına göre test problemi sonuçları	91
Çizelge 6. 2. MYS için deneme sayılarına göre test problemi sonuçları	91
Çizelge 6. 3. Maliyete yönelik sezgisel test problemi sonuçları	92
Çizelge 6. 4. Maliyet karşılaştırma sonuçları	94
Çizelge 6. 5. Boyut ve kritere göre toplam maliyetler.....	94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1. Çalışmanın kapsamı ve geliştirilen yöntemler.....	5
Şekil 2. 1. Genel Bir Üretim Sistemi	7
Şekil 2. 2. Üretim Sistemleri	8
Şekil 2. 3. Öncelik ilişkileri diyagramı	13
Şekil 2. 4. Denge gecikmesi olan bir üretim hattı [7]	15
Şekil 2. 5. MHD probleminin sınıflandırılması.....	19
Şekil 2. 6. Geleneksel MHD probleminin sınıflandırılması.....	20
Şekil 2. 7. U tipi hat yerleşimi.....	22
Şekil 2. 8. UMHDP'nin sınıflandırılması	23
Şekil 2. 9. Paralel MHD probleminin sınıflandırılması	24
Şekil 2. 10. Beş görevli öncelik diyagramı	29
Şekil 2. 11. 3 nolu görevi paralellenmiş öncelik diyagramı.....	29
Şekil 2. 12. Seri istasyonlu (a) ve paralel istasyonlu (b) iki denge.....	30
Şekil 4. 1. Jackson probleminin Paralel hat dengeleme problemi için düzenlenmiş hali [4]	56
Şekil 4. 2. Stokastik görev zamanlı 11+10 görevli Jackson problemi C=10 $\alpha=0.05$ için alternatif atama seçeneklerinden biri.....	57
Şekil 5. 1. Sezgisel prosedür için akış şeması	70
Şekil 5. 2. Küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için ortalama iterasyon sayıları karşılaştırma grafiği	80
Şekil 5. 3. Küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için en yüksek iterasyon sayıları karşılaştırma grafiği	81
Şekil 5. 4. En iyi değeri bilinen test problemleri için (a) rassal seçim kriteri, (b) C* listesi kriteri, (c) CV kriteri sezgisel yöntemlerinin sonuçları	82

Şekil	Sayfa
Şekil 5. 5. En iyi değeri bilinmeyen test problemleri için (a) rassal seçim kriteri, (b) C* listesi kriteri, (c) CV kriteri sezgisel yöntemlerinin sonuçları	84
Şekil 6. 1. MYS için akış şeması	88
Şekil 6. 2. MYS seçim kriteri akış şeması	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
C	Çevrim zamanı
i	Görev
N	Toplam görev sayısı
t_{hi}	h hattındaki i görevinin işlem zamanı
k	İstasyon
K	Toplam istasyon sayısı
S_k	k istasyonunun zamanı
d	Denge gecikmesi
e	Hattın etkinliği
E-Oranı	Esneklik oranı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ÇMD	Çok modellenli deterministik
ÇMS	Çok modellenli stokastik
DYM	Doğrusal Yaklaşım Modeli
DDM	Doğrusal Dönüşüm Modeli
MHD	MHD
SPMHD	Stokastik Paralel MHD
TZÜ	Tam Zamanında Üretim
TMD	Tek modellenli deterministik
TMS	Tek modellenli stokastik
UHD	U Tipi Hat Dengeleme

1. GİRİŞ

Sanayileşme süreci içerisinde, toplam işin bileşenlerine (parçalarına, modüllerine) ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılması yoluyla daha hızlı ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden malzemelerin geçirilmesi yoluyla yapılmaya başlandı. Montaj Hatları (MH) günümüz endüstrisinde önemli bir yeri olan kitle üretim yöntemlerinden biridir. Bir üretim sisteminde üretilmesi amaçlanan ürün veya yarı ürünlerin belirlenen bir üretim hattında bir araya getirilerek birleştirilmesi ve son aşamada amaçlanan ürün veya yarı ürünlerin elde edilmesine montaj, bu işlemlerin yapıldığı üretim hattına da montaj hattı denir. MH, standart ürünlerin yüksek hacimlerde üretilmesi amacıyla ortaya çıkan sistemlerdir.

MH’de karşılaşılan en temel problem, yapılması gerekli görevlerin, hattaki istasyonlara ürün ve üretim sisteminden kaynaklanan kısıtlar altında atanmasıdır. MHD (MHD) ise, montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işlerin, bu işlerin süreleri ve işler arasındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, -bir performans ölçütü en iyilenecek şekilde- sıralı iş istasyonlarına atanması şeklinde tanımlanabilir. Bundaki amaç; kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için; üretim süresi içinde her bir montaj operatörüne, çok az boş süre bırakılacak veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlemlerin istasyonlara dağıtılması, yâni varolan kısıtlar altında -işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olmasından dolayı- iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının en küçüklenmesidir. Sorunun bu noktasında, sürekli üretim yapan sistemlerin yerleşim düzeninin kurulmasında, hat dengeleme problemi ortaya çıkar.

MH’nin dengelenmesindeki ana amaçlardan biri, her iş istasyonuna eşit miktarda iş dağıtımı yapabilmek, başka bir deyişle, toplam iş yükünü iş istasyonları arasında mümkün olduğu kadar eşit bir şekilde bölebilmektir. Dengelemedeki bir diğer ana amaç; oluşan şartlar altında hattın kesintisiz olarak çalışmasını sağlamaktır. Bu da ancak, işler arasındaki öncelik şartlarını sağlayarak her istasyondaki toplam iş yükü

süresinin, verilen çevrim zamanından büyük olmaması ve hattaki iş istasyonu sayısının en küçük olacak bir biçimde işlerin iş istasyonlarına atanmasıyla sağlanabilmektedir. MHD’de iş istasyonu sayısının sabit olduğu durumlarda amaç, çevrim zamanının enazlanmasıdır. MHD çalışmalarında genelde en çok kullanılan amaç fonksiyonları; en çok ürünü elde etmek, boş zamanları en küçüklemek, denge kaybını en küçüklemek, denge kaybını iş istasyonları arasında eşit olarak dağıtmak, iş istasyonları önlerindeki kuyruklardaki yığılma ve beklemeleri en küçüklemek olarak sıralanabilir [1].

MHD problemi; üretim hızının artırılması, sağlıklı bir planlama yapılması ve işletmenin ekonomik sorunlarına çözüm getirmeye yönelik olmasından dolayı, endüstri dünyasında büyük önem taşır. MHD, seri üretim yapılan sektörlerde tercih edilen bir kavramdır, dolayısıyla öncelikle üretim sisteminin ilk defa kurulma aşamasında başvurulacak bir tekniktir. Ürün değişimlerinde ve model değişimlerinde de hat tekrar dengelenmelidir. Pahalı bir üretim sistemi olduğundan çok sıklıkla değiştirilmesi uygun değildir.

Görüldüğü gibi hat dengeleme problemleri, üretim hatlarının tasarımında ve işletilmesinde her an ortaya çıkabilen bir konudur. Gerçekte hat dengeleme problemleri, çeşitli kapasitelerde ve üretim hızlarında çalışıldığında, hatta oluşabilecek ve iş istasyonlarının verimliliğini etkileyecek başlıca etkenlerden olan atıl kaynak kullanımını en alt düzeyde tutmak için en uygun çözümün belirlenmesinde ortaya çıkmıştır.

Genel olarak açıklanan MHD problemi, gerçekte, üretim yapan işletmeciler için çok önemli bir konudur. Kaliteli ve yüksek hızlı bir üretim düzeyi tutturmak, hat dengeleme çalışmalarının ayrıntılı ve iyi bir şekilde yapılması ile sağlanır.

Bilgisayar teknolojisi, hesaplamalı bilimler ve endüstri mühendisliğindeki gelişmeler doğrultusunda sürekli bir değişim ve iyileşme meydana gelmektedir. Bu iyileşme montaj hattı kullanılan sistemlere de etki etmiştir. Aynı zamanda talepteki değişim

hızı da sürekli artmıştır. Bunun sonucu olarak yeni bir üretim felsefesi olan Tam Zamanında Üretim (TZÜ) ortaya çıkmıştır.

TZÜ felsefesinin ilk uygulayıcısı olan Japon Toyota firması bu bağlamda ilk olarak, geleneksel düz montaj hattı yerine U tipi montaj hattı (U-MH) kullanmıştır. Geleneksel hatlardan farklı olarak U-MH’de yerleşim U şeklindedir. U-MH’nin düz hatlara göre birçok avantajı vardır. Bunlardan birincisi üretime esneklik kazandırmasıdır. Başka bir ifadeyle, talep değişimlerine karşı üretim hızının adaptasyonunun düz hatlara göre daha kolay yapılmasıdır [2].

MHD’de kullanılan teknikler genel olarak sezgisel ve en iyi teknikler olmak üzere ikiye ayrılır. Çözüm uzayının büyük oluşu ve çözüm zamanının problemin boyutuna bağlı olarak üstel olarak artması bu problemlerin çözümünde sezgisel teknikleri analitik tekniklere göre ön plana çıkarmıştır. Gerçek hayattaki MHD problemlerinin çoğu iş sayıları, işler arasındaki öncelik ilişkilerinin sayıları ve iş istasyonları sayıları bakımından büyük ölçekli problemler olarak değerlendirilir ve NP-zor yapılı problemler sınıfına girmektedir [3]. Arama uzayının çok büyük olmasından dolayı bunlar arasından en iyi olanını seçmek mevcut en iyi sonucu garanti eden tekniklerle oldukça güçtür. Bu nedenle büyük boyutlu gerçek hayat problemlerinde sezgisel tekniklerin kullanımı daha yaygındır.

Küreselleşme ve beraberindeki değişimler üretim sistemlerini de etkilemiştir. Günümüz üretim sistemleri, olabildiğince esnek yapıya ihtiyaç duymaktadır. Bunun nedenleri olarak ürün çeşitliliğinin artması, kitlesel talebin azalması, rekabetin artması, verimliliğin rekabette önemli bir faktör haline gelmesi sayılabilir. MH ise günümüz üretim ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde değişime uğramış ve sonuç olarak U tipi MH, iki taraflı MH, robotik MH, esnek MH gibi farklı tasarım alternatifleri ortaya çıkmıştır. Değişen tasarımlar yeni problemleri de beraberinde getirmiştir. İşte bu tezde Gökçen ve ark., tarafından yeni bir problem olarak ortaya konulan paralel MHD problemi de bu yeni problemlerden birisi olarak yerini almıştır [4].

Fazla mesai, başka montaj hattı, taşeron, tampon stoklar ve paralelliğin kullanımı yüksek üretim hızlarına erişmek için değişik alternatifler olarak sayılabilir. Geleneksel MHD problemlerindeki temel varsayım, hattın seri olması yani görev ve istasyonların paralelliğinin olmamasıdır. Paralel MH'nin temeli ise, görevlerin paralel hatlar üzerindeki karşılıklı geçişli istasyonlara atanması kavramına dayanmaktadır.

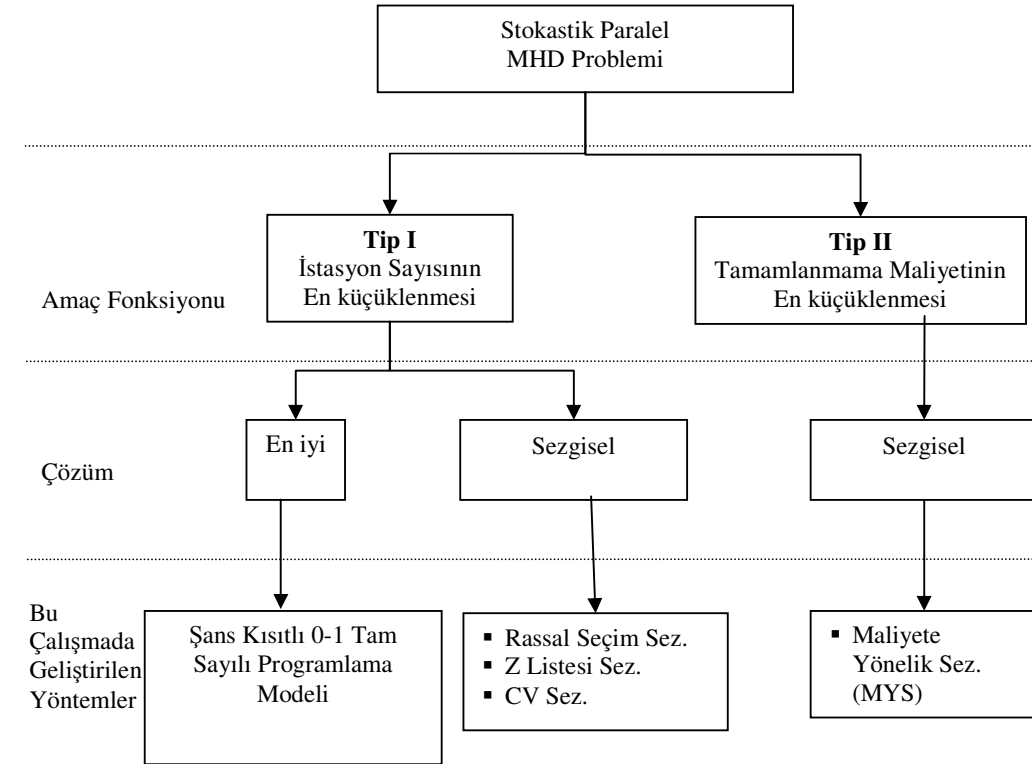
Pratikte birçok üretim sistemi bir ya da daha fazla montaj hattından oluşmaktadır. Ürünleri bir ya da daha fazla montaj hattında üretmede iki durum söz konusudur. Birinci durum talebin yeterince yüksek olması ve tek bir hattın kapasitesinin söz konusu talebi karşılamada yetersiz kalması ve ikinci, hatta üçüncü bir hattın kurulması ihtiyacıdır. Yani, aynı ürünün birden fazla özdeş hatta üretilmesidir. İkincisi ise; her bir ürün talebinin, hat kurmak için yeterli büyüklükte olması durumunda, birden fazla benzer ürünün birbirinden ayrı MH'de üretilmesidir. Literatürde, bu tür durumlar için, her bir hat ile ilgili bağımsız dengeler oluşturulmakta ve üretim gerçekleştirilmektedir.

Montaj hattı bulunan birçok işletmede hat sayısı genellikle 2 ya da daha fazladır. Gökçen ve ark., bir ürüne olan talebin yeterince yüksek olması ve tek bir hattın kapasitesinin söz konusu talebi tek bir montaj hattıyla karşılamada yetersiz kalması durumunda kurulacak birden fazla özdeş montaj hattıyla ilgilenmiştir [4].

Hat dengeleme problemi görev sürelerine göre deterministik ve stokastik olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. MH'de insan unsuru görev sürelerinin değişken olmasına yol açmaktadır. Söz konusu değişkenliğin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikteki işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, araç-gereç bozulmaları sayılabilir. Bu durum, istasyonlara atanan işlerin aldıkları toplam sürenin istasyona verilen süreyi (çevrim zamanı) aşmasına ve dolayısıyla bazı görevlerin bitirilememesine sebep olabilmektedir. Özellikle görevler arasındaki öncelik ilişkileri göz önüne alındığında, bazı görevlere hiç başlanamamaktadır. Stokastik görev zamanlı durumda amaç verilen bir çevrim zamanı için görevlerin tamamlanmama olasılıklarının en küçüklenmesi veya

görevlerin tamamlanmamasından kaynaklanan tamamlanmama maliyetinin en küçüklenmesi olabilmektedir.

Yukarıda hat dengeleme probleminin önemi ve özellikle stokastik görev zamanlı durumun gerçek sistemlere olan yakınlığı ifade edilmiştir. Ayrıca, şimdiye kadar literatürde Paralel MH için görev zamanlarının stokastik olduğu dengeleme problemlerine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada stokastik görev zamanlı Paralel MHD problemi incelenmiş, probleme yönelik tasarım perspektifinin de dikkate alındığı yeni çözüm yöntemleri önerilerek literatürdeki açığın kapatılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda yeni sezgisel metotlar, şans kısıtlı bir model ve bu problemin çözümünü kısaltacak alt ve üst limitler geliştirilmiştir. Önerilen yeni çözüm yöntemleri kullanılarak gerçek hayata yönelik problemler çözülebilecektir. Çalışmanın kapsamı ve geliştirilen yöntemler Şekil 1.1 de verilmektedir.



Şekil 1. 1. Çalışmanın kapsamı ve geliştirilen yöntemler

Çalışmanın sunumu şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölüm üretim sistemleri, geleneksel MH ve hat dengeleme problemi ile ilgili tanım ve terminolojiyi içermektedir. Aynı bölümde MH’de, hattın etkinliğinin artırılması için görevler ya da istasyonların paralel hale getirilmesi incelenmiş, paralel istasyonların faydaları ve MH’de paralellik kavramı ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, geleneksel MHD problemini de kapsayacak şekilde U tipi MH’de stokastiklik durumu ve literatürde bilindiği anlamıyla paralel MH için bir literatür araştırması verilmektedir.

Dördüncü bölümde, stokastik paralel MH’nin dengelenmesi için şans kısıtlı matematiksel programlama modeli önerilmiştir. Bu modelin doğrusal olmayan yapısı dolayısıyla çözüm zamanı ve kalitesinin geliştirilebilmesi amacıyla doğrusal yaklaşımlar yapılmıştır. Stokastik yapıda olan paralel MH için teorik en küçük istasyon sayıları ve bu hatlar üzerinde kurulacak istasyonlara yapılacak atamalar için görevlerin atanabileceği en küçük ve en büyük istasyon sayılarını üreten yaklaşımlar yapılmıştır.

Beşinci bölümde bilhassa orta ve büyük boyutlu Tip I (istasyon sayısının en küçüklenmesi) problemlerinin çözümünün bulunmasına yönelik çeşitli atama kurallarının yönlendirdiği 3 sezgisel yöntem sunulmuştur.

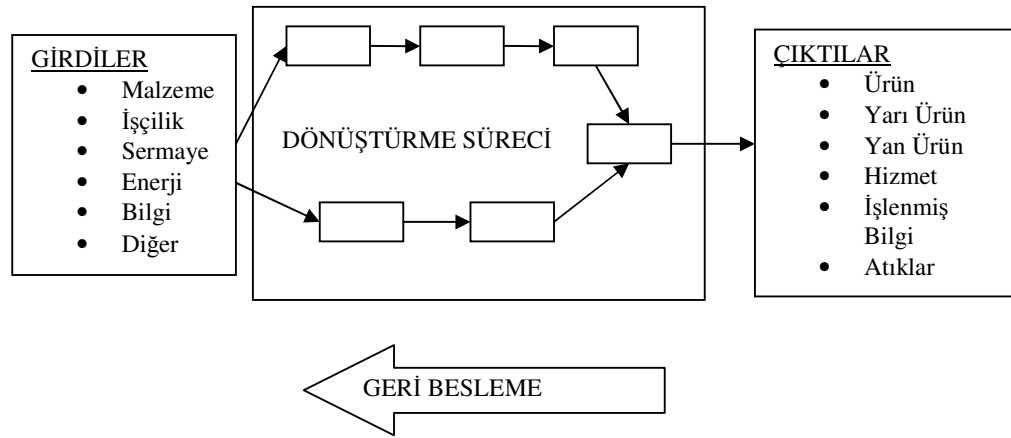
Altıncı bölüm içerisinde görev zamanlarının stokastik olmasından kaynaklanan, görevlerin çevrim zamanı içerisinde tamamlanamamasından kaynaklanan maliyet ele alınmış, daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılan maliyet fonksiyonları kullanılmış ve geliştirilen bir sezgisel yöntemle çözümler elde edilerek sonuçları sunulmuştur.

Yedinci ve son bölümde ise yapılan çalışma ve ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiş, bu çalışmadan elde edilen tecrübeler doğrultusunda gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. MHD PROBLEMİ

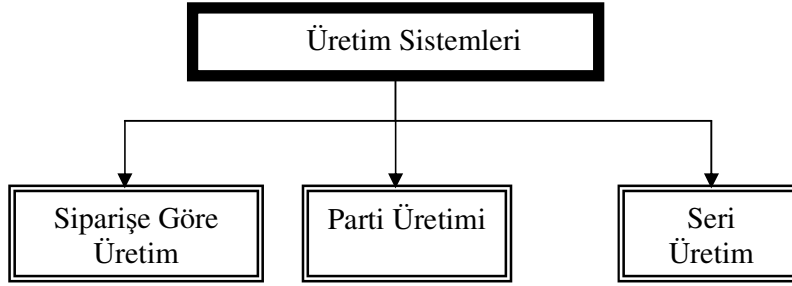
2.1. Üretim Kavramı, Üretim Tipleri ve Seri Üretim

Üretim, mal ve hizmetleri bir dizi işlemten geçirerek biçim, zaman ve mekân boyutuyla faydalı hale getirmeye veya faydalılıklarını artırmaya yönelik her türlü etkinlik olarak tanımlanmaktadır [5]. Sistem kavramını da ele alarak tanımımızı genişlettiğimizde, üretim sistemi, girdileri doğal kaynaklar (toprak, madenler, su, hava vb.), işgücü, bilgi ve sermaye olan, bunlar üzerinde belirli dönüştürme süreçleri uygulanarak, ürün, yarı ürün, yan ürün, hizmet ve atıkların elde edildiği ve bu süreç içerisinde geri besleme aracılığı ile düzeltmelerin yapıldığı yapıdır. (Şekil 2.1)



Şekil 2. 1. Genel Bir Üretim Sistemi

Üretim sistemleri ürün çeşidi ve üretim miktarlarına göre genel olarak 3 başlık altında toplanabilir. (Şekil 2.2)



Şekil 2. 2. Üretim Sistemleri

Siparişe göre üretim: Miktarları düşük, fakat müşteri isteklerini karşılayabilecek şekilde zengin ürün çeşitliliğine sahip, kişiye özel talepleri karşılamak üzere yapılan üretim çeşididir. Bu tip üretim içerisinde tüm talepleri karşılayabilecek ekipman çeşitliliği ve her bir ekipmanı kullanabilecek şekilde operatör esnekliği çok büyük önem kazanmaktadır. Bu tip üretime verilebilecek en güzel örnek terziliklidir. Kişinin kendi ölçülerine göre, istediği renk ve kalınlıkta kumaş ile beğendiği bir modelden üretim yapılmaktadır.

Parti Üretimi: Kısıtlı miktarlarda üretimin söz konusu olduğu Parti Tipi üretimde, belirli bir siparişi karşılamak amacıyla ürünler partiler halinde imal edilir. Bu üretim tarzında çok çeşit veya aynı malın farklı seçenekleri mevcuttur. Üretim tipini ayırt eden özellik ise üretimin partiler şeklinde yapılması ve bir parti bitmeden diğerinin üretimine geçilmemesidir. Bu üretim tipinde siparişe göre üretime kıyasla daha az değişen sürekli bir talep söz konusudur. Bu üretim yöntemindeki temel planlama çalışması, parti büyüklüklerinin belirlenmesi ve üretim sıklıklarının tespitidir. Bu üretim tarzında genel amaçlı ekipman kullanımı ve esnek operatör kullanımı yine mevcuttur. Üretim planlama çalışmaları; üretim partilerinin teslim zamanlarına yetiştirilmesi, üretimin çizelgelenmesi ve bir miktar ürünün de stoka yönlendirilmesiyle gerçekleştirilen stok yönetiminden dolayı daha büyük önem taşımaktadır. Bu üretim tarzına da en iyi örneklerden birisi otomotiv yedek parça üretimidir.

Seri Üretim: Yüksek miktarlarda üretimi yapılan fakat düşük çeşitlilik gösteren mamuller için yapılan üretim çeşididir. Seri üretimde, birbirinden farklı operasyon sıralarına ve yardımcı üretim araçlarına gereksinim duyan değişik ürünlerin üretiminden kaynaklanan zorluklar yoktur. Bu üretim çeşidinin ana özelliği; ürün akışı (ürünün hareket halinde olması) ve tesislerin üretilecek ürüne göre tasarlanmasıdır.

Seri üretim, sürekli seri (akış süreçli) ve kesikli seri (akış hatlı) olmak üzere iki türdür. Sürekli seri üretimde işlenen hammadde ve ürünler doğal yapıları itibariyle kendiliğinden akarlar. Çimento, şeker, petrokimya ve gıda maddeleri üretimi bu üretimin en önemli örnekleridir. Kesikli seri üretim de aynı temel prensip üzerine gelişmiştir. Ürün, tek tek birimler halinde, birbirini izleyen iş istasyonlarında gerekli işlemlerin yapılmasıyla oluşur. Karmaşık birimler akış kuralı kullanılarak büyük miktarlarda özel akış sistemlerinin tasarımı ile üretilmektedirler. Örneğin, beyaz eşya, motorlu taşıtlar, motor silindir blokları vb.

Seri üretim sistemleri dört ana kural üzerine kurulmuştur [6].

- i. *İş Akışı Prensibi:* Seri üretim sistemlerinde işin, malzemenin ve ürünlerin düzgün ve düzenli bir şekilde üretim tesisleri boyunca akmaları beklenmektedir. Bu durum sürekli seri üretim sistemlerinde düzenli olduğu halde kesikli seri üretim sistemlerinde ürün akışında bazı düzensizlikler görülebilmektedir. Bu sistemlerin tasarımı aşamasında en önemli amaç, bu düzensizliklerin en aza indirgenmesidir.
- ii. *İkame Edilebilen Parça Kullanımı:* Kesikli seri üretim içerisinde büyük ölçüde ikame edilebilen (birbirinin yerine konulabilen) parçaların kullanımı çok büyük öneme sahiptir. Üretimde kullanılan yarı mamul ve parçaların yeterli doğruluk standartlarında olması; ana ürünü oluşturan parçaların (bileşenlerin) birbirinin yerine kullanılabilmelerini mümkün kılmaktadır.
- iii. *En küçük Uzaklık Kuralı:* İş akışının sürekliliğinin sağlanması ve kullanım alanının en iyi şekilde değerlendirilmesi, büyük ölçüde, kullanılan akış modelinin

akılcı ve etken olmasına bağlıdır. Bu durumda üretim merkezlerinin birbirine yakın olmaları, hareketli bantlar ve benzeri malzeme aktarım ekipmanları ile birbirine bağlanmış olmaları gereklidir.

iv. *İş Yükünün Bölünmesi*: İş yükünün bölünmesi ve rasyonelleştirilmesi veya MH’de işgücünün bölünmesi, seri üretim sistemlerinin önemli özelliklerinden birisidir.

2.2. MHD Problemi Tanım ve Gösterimleri

MH’deki bir mamulün montajı kavramı, birçok parça, bileşen ve alt montajın parçalarının bir araya getirilmesi ve bunların üzerinde bir takım işlemlerin uygulanması olarak tanımlanmaktadır. İşlemleri yapacak olanlar, hat boyunca sıralanmış olan işçi grupları, diğer bir deyişle iş istasyonlarıdır.

Malzemelerin, akış hattı boyunca işgücü veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki öncelik ilişkileri ve çevrim zamanı gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturulan istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmasıyla oluşan sisteme, montaj hattı adı verilmektedir [7].

MH’de yarı mamul veya hammadde hattın bir noktasından girmekte ve bir takım işlemlere tabi tutulduktan sonra, mamul olarak hattı terk etmektedir. Bu montaj hattında genellikle bir takım aksamalar olur. İşte bu aksamaların giderilmesi, büyük ölçüde hattın dengelenmesiyle sağlanabilir. Ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri en aza indirecek şekilde atanması işlemine Montaj Hattı Dengeleme (MHD) adı verilmektedir. Seri üretim sistemlerinde, sistemden en fazla fayda hattın dengelenmesiyle sağlanır [3].

MHD kavramı ilk olarak Ford T modelinin üretimiyle ortaya çıkmıştır. Problemin analitik olarak incelendiği ilk çalışma Bryton tarafından 1954 yılında yapılan tez çalışmasıdır [8].

MHD'deki ana amaçlardan biri, her iş istasyonuna eşit miktarda iş dağıtımını yapabilmek, başka bir deyişle toplam iş yükünü iş istasyonları arasında mümkün olduğu kadar eşit bir şekilde bölebilmektir [1].

Dengelemedeki ikinci ana amaç ise, oluşan tüm değişken şartlar altında hattın sürekli (kesintisiz) olarak çalışmasını sağlamaktır. Bu da ancak işler arasındaki öncelik şartlarının sağlanması, her istasyondaki toplam iş yükü süresinin, verilen çevrim zamanından büyük olmaması ve hattaki istasyon sayısının en küçük olacak bir biçimde işlerin iş istasyonlarına atanmasıyla sağlanabilmektedir.

MHD'de iş istasyonu sayısının sabit olduğu durumlarda amaç, çevrim zamanının enazlanmasıdır. MHD çalışmalarında genelde en sık kullanılan amaç fonksiyonları; en çok ürünü elde etmek ve malzeme akışını düzenli bir şekilde sağlamak, işgücü ve tezgâh kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak, üretim maliyetini en küçüklemek, boş zamanları en küçüklemek, denge kaybını en küçüklemek, denge kaybını istasyonlar arasında eşit olarak dağıtmak, iş istasyonu kuyruklarındaki yığılma ve beklemleri en küçüklemek olarak belirtilebilir [1].

MH yapıları itibariyle farklı şekillerde sınıflandırılabilirler. Bunlar; malzeme taşıma sistemine göre: silindir konveyörlü, asansörlü vinçli; hattın şekline göre: u tipi, düzgün, dallanan; hareketine göre: manuel veya mekanik; ürün çeşitliliğine göre: tek ürünlü veya çok ürünlü; istasyon karakteristiğine göre: çalışanın ayakta durduğu, oturduğu veya hatla birlikte yürüdüğü; şeklinde sıralanır [9].

MH'nin avantajları şunlardır [10]:

- a. Yüksek işçi ve makine üretkenliği.
- b. Fazla miktarda işlem tekrarlılığı.
- c. Çalışanların işi kolay öğrenmesi. (Öğrenme eğrisinde verimli noktaya ulaşmak daha kolaydır.)
- d. İşlerin hattaki istasyonlar arasında eşit olarak dağıtılması.
- e. MH'de yüksek miktarda süreç içi stok olmaması.

f. Parti büyüklüğünün genellikle 1 olması.

2.2.1. MHD Problemi Temel Kavramları

MHD problemlerinde sık kullanılan kavramlar ve temel hesaplamalar aşağıda verilmiştir [6].

Görev: Toplam iş yükünün mantıksal olarak bölünmüş ve daha fazla ayrıştırılmayan en küçük iş ögesidir. Görev i indisiyle ifade edilir, problemdeki görev sayısının toplamı ise N ile gösterilir.

İşlem Zamanı: Bir görevi tamamlamak için gerekli süre olup ve i görevine ait işlem zamanı t_i ile gösterilir. MHD problemlerinde bu zamanın ya belirli bir sabit olduğu ya da belirli bir olasılık dağılımına göre dağıldığı varsayılmıştır. Tez çalışmasında bu dağılımın normal olasılık dağılımına uyduğu kabul edilmiş ve $t_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ şeklinde ifade edilmiştir.

İş istasyonu: Üretim hattında yapılması öngörülen toplam iş miktarının bir kısmının yerine getirildiği yerdir ve açık veya kapalı olabilirler. Kapalı istasyonlarda iş, istasyon sınırları içerisinde yapılmak zorundadır. Açık istasyonlarda ise operatör belirlenmiş sınırlara kadar istasyonu terk edebilir. Her bir istasyonda ürünlerin üretilmesi için gereken N adet operasyonun bir alt kümesi gerçekleştirilir ve bu alt kümenin eleman sayısı k ile gösterilir. Toplam istasyon sayısı ise K ile ifade edilir.

Çevrim Zamanı: Hattın sabit veya aralıklı hareketleriyle her ürünün her bir istasyonda işlem gördüğü zamandır ve C ile gösterilir. Başka bir ifadeyle standart bir akış temposuyla bir üretim hattında tamamlanıp çıkan, ardı ardına iki ürün arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanır.

İstasyon Zamanı (İş Yüğü): Aynı istasyonda yapılan görevlerin zamanları toplamıdır. k istasyonuna ait istasyon zamanı S_k ile gösterilir. Montaj hattındaki istasyon zamanları hattın çevrim zamanından (C) büyük olmamalıdır (Eş. 2.1).

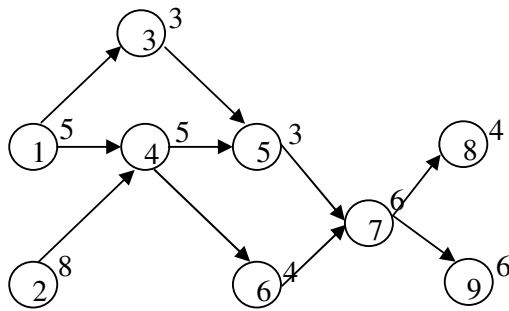
$$\text{Max}_i\{t_i\} \leq \text{Max}_k\{s_k\} \leq C \quad (2.1)$$

İstasyon Gecikme Zamanı (Boş Zaman): Çevrim zamanı ile istasyon zamanı arasındaki farka eşit olup aynı zamanda “istasyon boş zamanı” olarak da adlandırılır.

Toplam Boş Zaman: Bir hattın tasarım etkinliğinin bir ölçüsü olup, bütün istasyonların boş zamanları toplamına eşittir. (Eş. 2.2).

$$\text{TBZ} = \sum_{k=1}^K (C - S_k) \quad (2.2)$$

Öncelik Diyagramı: Bir ürünün montajında yapılması gereken iş elemanlarının ya da görevlerin işlem sıralarının grafiksel olarak gösterimine imkan veren bir araçtır. Şekil 2.3’de 9 elemanlı bir öncelik diyagramı verilmiştir. Dairelerin içindeki numaralar görevleri, dışındakiler ise görev zamanlarını ifade etmektedir. Diyagram soldan sağa doğru çizilen yönlü bir graftır ve PERT diyagramı gibi çizilir. Daireler (görevler) numaralanırken eğer $a \gg b$ ise (a görevi b görevinden önce geliyorsa), sayısal olarak da $a < b$ olmalıdır [3].



Şekil 2. 3. Öncelik ilişkileri diyagramı

Öncelik Matrisi: Öncelik diyagramındaki ilişkilerin matris sisteminde gösterimiyle oluşturulan bir üst üçgen matristir. Öncelik diagramındaki eğer i görevini j görevi takip ediyorsa matriste i . satır j . sütun 1, aksi halde 0 değerini alır. Örneğin şekil 2.3.’deki öncelik diagramında 1 görevini 3 görevi takip etmektedir. Bu nedenle

oluşturulacak matrisde 1. satır 3. sütun 1 değerini alacaktır. Şekil 2.3.'deki öncelik diagramı için hazırlanan öncelik matrisi çizelge 2 .1.'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1. Öncelik Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	0	1	1	1	1	1	1	1
2		-	0	1	1	1	1	1	1
3			-	0	1	0	1	1	1
4				-	1	1	1	1	1
5					-	0	1	1	1
6						-	1	1	1
7							-	1	1
8								-	0
9									-

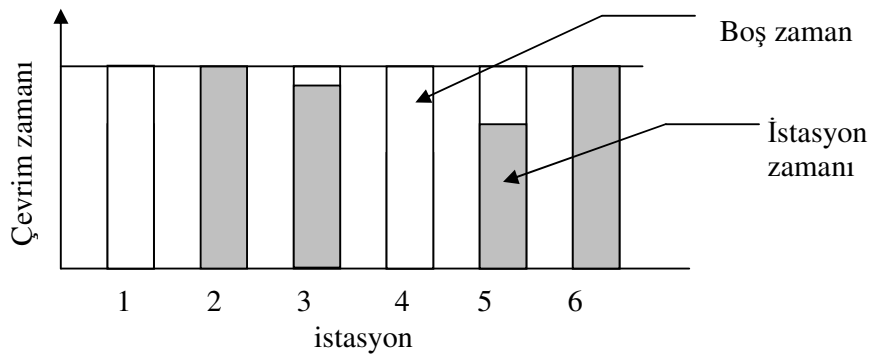
Montaj hattı problemlerinin genel gösterimi öncelik diyagramı ve öncelik matrisleriyle yapılır.

Denge Gecikmesi: Etkinliğin bir ölçüsü olan denge gecikmesi, toplam boş zamanın, ürünün hattın başından sonuna hareketi sırasında tüm istasyonlarda harcadığı toplam zamana kötü bir şekilde dağıtılması sonucunda, istasyonlardaki operatörlerin boş kaldığı toplam süredir. Bu süre, montaj hattının dengesizliğinin de bir ölçüsü olarak kullanılır. Mükemmel dengelenmiş hatlarda denge gecikmesi sıfırdır. Şekil 2.4.'de denge gecikmesi olan 6 istasyonlu bir üretim hattına ait grafik verilmiştir. Denge gecikmesi d ile gösterilir ve formülü şöyledir(Eş. 2.3):

$$d = \frac{\left(K * C - \sum_{i=1}^N t_i \right)}{K * C} \quad (2.3)$$

Hattın Etkinliği: Verimlilik ölçüsü olarak kullanılır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır (Eş. 2.4). Bu oran her zaman 0 ile 1 arasında değer alır.

$$e = \frac{\sum_{k=1}^K S_k}{K * C} \quad (2.4)$$



Şekil 2. 4. Denge gecikmesi olan bir üretim hattı [7]

Düzensizlik İndeksi: Bir montaj hattının dengesinin göreceli düzensizliğini gösteren bir indekstir. İndeksin 0 olması, denge düzensizliğinin tam olduğu anlamındadır ve Eş. 2.5'deki gibi hesaplanır.

$$SI = \sqrt{\sum_{k=1}^K \left(\max_k \{S_k\} - S_k \right)^2} \quad (2.5)$$

Esneklik Oranı: Esneklik oranı montaj işlemindeki görevlerin öncelik ilişkisine göre bulunabilecek uygun sıralamaların nisbi belirleyicisidir. Bir öncelik diagramının esnekliği öncelik matrisinden faydalanılarak tespit edilir. Esneklik, problem çözümünü kolaylaştıran ya da zorlaştıran bir faktördür. Esneklik oranı Eş. 2.6'daki şekilde hesaplanır.

$$E \text{ Oranı} = \frac{2 * Y}{N * (N - 1)} \quad (2.6)$$

Eşitlikteki Y değişkeni öncelik matrisindeki sıfır sayısını, N ise görev sayısını temsil etmektedir.

Esneklik oranı, 0 ile 1 arasında değişmektedir. Eğer esneklik oranı sıfır ise, tüm görevler ardışık olarak sıralanmış demektir ve hatta herhangi bir esneklik sözkonusu değildir. Esneklik oranının 1'e yakın olması, problemde değerlendirilebilecek çok sayıda tasarım alternatifi oluşturacağından, problemin çözümünü de güçleştirecektir. Esneklik oranı 1 olduğunda ise görevler arasında önceliği gösteren herhangi bir ilişki yoktur, yani şebekedeki düğümler birbirlerinden kopuktur. Bu durumda hat tamamen esnektir ve MH problemi kutu paketleme problemine benzer. Kutu paketleme problemi ise NP-zor sınıfında bir problemidir.

Şekil 2.3'deki öncelik diyagramına göre hesaplanan esneklik oranı, Çizelge 2.1 yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$E - oranı = \frac{2 * 6}{9 * (9 - 1)} = 0,167$$

Görevlerin Paralelliği: Bir görevin birden fazla istasyonda yapılmasına müsaade edilmesidir.

İstasyonların Paralelliği: Hat boyunca belirli noktalarda, denk iş istasyonlarına müsaade edilmesidir. Paralellik kavramı, bir hat tasarımını çeşitli şekilde düzenlemek için kullanılır, böylece denge etkinliği geliştirilebilir. MH'deki paralellik kavramına Bölüm 2.4'te detaylı olarak değinilecektir.

Bölgeleme Kısıtları: Bu kısıtlar iki şekilde ifade edilebilir. Bunlardan ilki pozitif bölgeleme kısıtlarıdır ve burada belirli görevlerin aynı yerde veya aynı istasyonda yapılması gerekliliği vardır. İkincisi negatif bölgeleme kısıtlarıdır ki bu kısıtlar belirli görevlerin aynı istasyonda yapılmaması istenildiğinde kullanılırlar.

İstasyon Tıkanması (Blocking): Eğer istasyonda tamamlanmış birimler, yetersiz alan yüzünden stoklanamıyorsa veya bir sonraki istasyon iş yükünü tamamlamaması nedeniyle birimler söz konusu istasyonda durmak zorunda kalıyorsa istasyon tıkanmış demektir. Bu durumda istasyon, parçanın istasyondan çıkması için şartlar müsait olana kadar boş bekleyecektir.

İstasyon Açlığı (Starving): Eğer istasyon uygunsa ve işlemi başlatmak için mevcut birime sahip değilse, istasyon açtır denilir. Bu durumda istasyon ihtiyacı olan birim gelene kadar boş bekleyecektir.

Gecikmesiz Hatlar (paced): Her bir istasyona aynı zaman miktarı (çevrim zamanı) izin verilir. Her bir çevrim zamanından (istasyon için müsaade edilen zaman) sonra birim tamamlansın ya da tamamlanmasın bir sonraki istasyona iletilir.

Gecikmeli hatlar (unpaced): İstasyon ilgili faaliyetlerini tamamladığında birim bir sonraki istasyona iletilir. Görev zamanlarındaki değişkenliğin çok fazla olduğu durumlarda bu hatlar tercih edilirler.

2.2.2. Montaj hattı düzenlemede temel prensipler

MH'nin düzenlenmesi aşağıdaki prensiplerin en iyi uyumuna göre yapılır [7]:

- *İşgücü prensibi:* Montaj hattında ne kadarlık bir işgücüne veya işçiye gereksinim vardır, bunlar nerelerde ve ne kadar bulundurulacaktır sorularına cevap aranır.
- *İş akışı prensibi:* İşlemler belli bir iş akışını sağlamalıdır. Bu durum süreklilik açısından da önemlidir.
- *En küçük hareket uzaklığı prensibi:* Montaj hattı üzerinde taşıma mesafelerinin oluşturacağı maliyet, darboğaz ve depolama açısından en küçük uzaklık olmalıdır.

- *Sabit yol prensibi:* İşlemler son aşamaya kadar aynı yol üzerinde hareket etmelidir.
- *İşlemlerin eş zamanlı sürdürülmesi prensibi:* Montaj işlemleri ilk istasyondan son istasyona kadar eş zamanlı yapılır.
- *Parçaların değişebilirliği prensibi:* Montaj işlemi sırasında bazı parçalar işlem sürekliliğini bozmadan değiştirilebilmelidir.
- *Birim işlem prensibi:* Ürün üzerinde her işlem, en küçük işlem birimlerine ayrılmıştır.
- *En küçük işlem süresi:* montaj işlemi, mümkün olan en kısa sürede bitirilmelidir. Burada işlem süreleri sabit olduğuna göre en küçükleme kayıp zaman üzerinde yapılır.

2.3. MHD Problemi ve Sınıflandırılması

MHD Problemi (MHDP), montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işler, bu işlerin süreleri ve işler arasındaki öncelik ilişkileri verildiğinde bir performans ölçütünü en iyilenecek şekilde görevlerin sıralı iş istasyonlarına atanması şeklinde tanımlanabilir. Bu tanıma göre MHDP öncelik ilişkilerini bozmayacak şekilde görevlerin, bazı verimlilik ölçütlerini (Örneğin; denge gecikmesi en küçüklenmesi, istasyon sayısı en küçüklenmesi, üretim oranının en büyüklenmesi vb.) sağlayacak şekilde sıralı istasyonlara atanmasıdır.

Problemin genel kısıtları şöyledir:

- a. Verilen çevrim zamanı
- b. Görevler ve görev zamanı
- c. Bölgeleme kısıtları
- d. Öncelik kısıtları

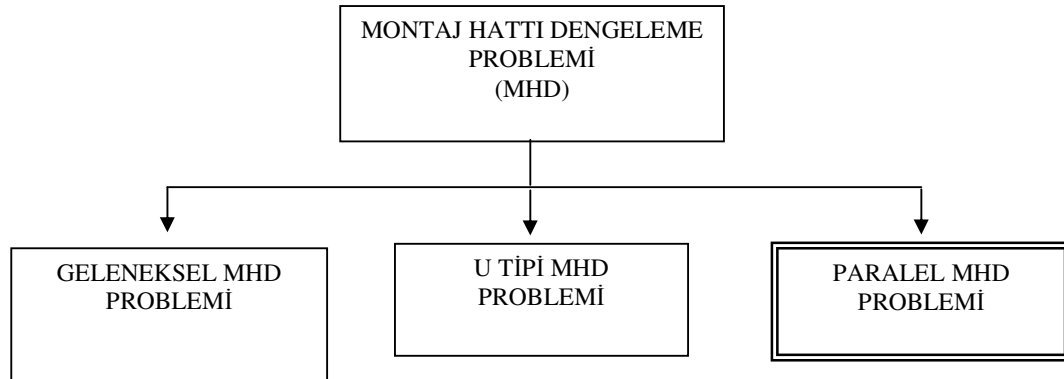
Problemin genel amaçları:

- a. Denge kaybını en aza indirmek
- b. İş istasyonu sayısını azaltmak
- c. İstenilen çıktı oranını elde etmek
- d. Boş zamanları en aza indirmek
- e. Denge kaybını iş istasyonları arasında eşit olarak dağıtmak
- f. İş istasyonlarındaki yığılma ve beklemleri en aza indirmek

MHD (MHD) problemi birçok şekilde sınıflandırılabilir. Örneğin hat tipine göre; geleneksel (düz), U tipi, paralel, iki taraflı, robotik ve esnek (flexible), hatta üretilen ürün sayısı ve üretim şekline göre; tek modellenli, çok modellenli, karışık modellenli ve görev zamanlarına göre; deterministik ve stokastik, problemin karmaşıklığına göre; basit durumlu ve genel durumlu. Bu tezde ilgilenilen basit stokastik paralel MHD problemidir (SPMHD).

2.3.1. Hat yerleşim tipine göre MHD problemleri

MHD problemi 3 kategori içerisinde sınıflandırılabilir (Şekil 2.5). Bunlar, Geleneksel Hatlarda Dengeleme (GHD) ve U Tipi Hatlarda Dengeleme (UHD) ve Paralel Hatlarda Dengeleme [11].

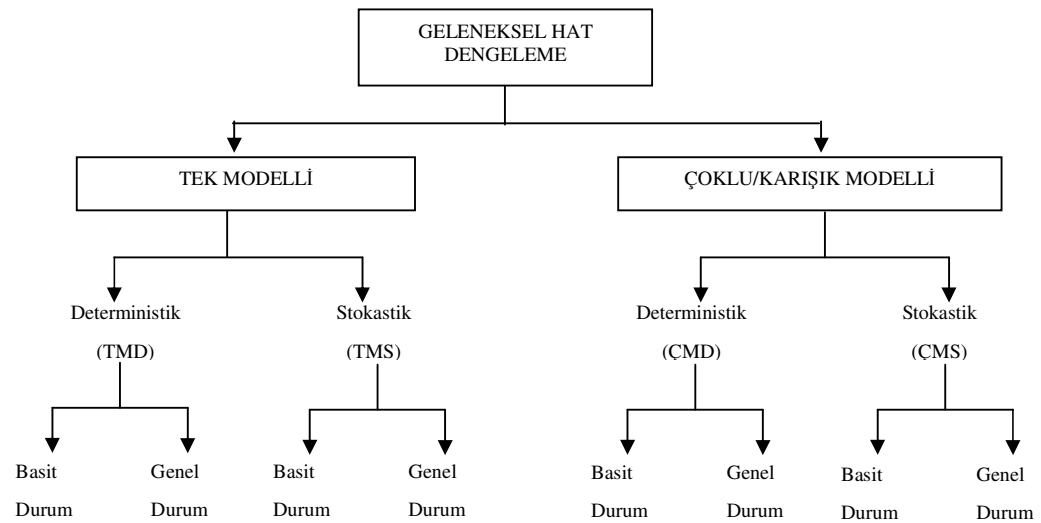


Şekil 2. 5. MHD probleminin sınıflandırılması

Bu dengeleme tiplerinin her biri de literatürde kendi içlerinde 4 gruba ayrılırlar. Bunlar, Tek Modelli Deterministik (TMD), Tek Modelli Stokastik (TMS), Çoklu/Karışık Modelli Deterministik (ÇMD), Çoklu/Karışık Modelli Stokastik (ÇMS) dengeleme problemleridir [12].

Geleneksel MHD Problemi (GMHDP) ve Sınıflandırılması

GMHDP; montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli görevler ile bu görevlerin süreleri ve aralarındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, bir performans ölçüsü en iyilenecek şekilde, görevlerin sıralı istasyonlara atanmasıdır. GMHDP, Şekil 2.6'daki gibi sınıflandırılabilir. TMD MHD problemlerinde hatta yalnız bir modelin üretildiği ve görev zamanlarının bir birimden diğerine herhangi bir değişiklik göstermediği yani deterministik olduğu varsayılır. TMD problemler geleneksel MHD problemlerinin en basit halidir. Paralel istasyon veya bölgeleme kısıtları gibi faktör veya kısıtlar eklendiğinde TMD genel durum olarak adlandırılırlar.



Şekil 2. 6. Geleneksel MHD probleminin sınıflandırılması

TMS problemi, görev zamanlarındaki değişkenlik nedeniyle oluşmuştur. Buna göre problem, öncelik ilişkileri dikkate alınarak ve belirli bir performans ölçüsü eniyilenecek şekilde görevlerin uygun iş istasyonlarına atanmasıdır. Manuel MH için

daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Hatta tamamlanamayan görevler, ya en kısa sürede tamamlanmak üzere hattın dışına alınırlar ve orada tamamlanırlar, ya da bitmemiş ürün olarak ayrılırlar.

ÇMD problemlerde görev zamanları belirlidir. Bu tip hatlarda, farklı ürünlerin montajı yapılır. İki veya daha fazla ürün partiler halinde üretilir. Bir parti bitmeden diğerine geçilmez. Yani modeller birbirine karıştırılmazlar. Modeller farklı ürünler ya da aynı ürünün farklı modelleri olabilir. Her iki durumda da ürünler aynı olmayan fakat benzer üretim ihtiyaçlarını gösterir. Karışık modellide ise aynı anda birden fazla benzer tipteki modellerin karışık olarak üretimi söz konusudur. Bu tip üretimin en önemli faydası, müşteri isteğini karşılamak üzere değişik modellerin sürekli olarak üretilmesi ve büyük mamul stoklarına gidilmemesidir. Modellerin değişik işlem zamanlarından doğan dezavantajı ise iş akışının düzenli olmaması, dolayısıyla da daha fazla istasyon boş zamanı ve yarı bitmiş mamullerden oluşan yığınlardır.

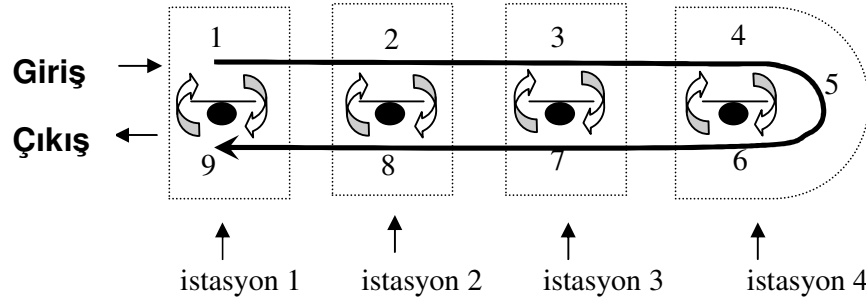
ÇMS hat dengeleme probleminde, görev zamanlarının stokastik olmasına izin verilir. Görev zamanları TMS’de olduğu gibi parametreleri bilinen dağılımlarla ifade edilirler. Öğrenme etkileri, işçi hüner seviyesi, iş tasarımı ve işçinin iş zamanı değişikliği gibi faktörler problemi zorlaştırır. Bunlardan dolayı, birimlerin tamamlanmadan hat boyunca ilerlemeleri ve dolayısıyla da tamamlanamayan birimlerin hattın dışında tamamlanması, bir takım maliyetlere sebep olmaktadır [13].

U-tipi MHD problemi (UMHDP)

U tipi MH’nin ilk uygulaması Toyota üretim sisteminde olmuştur. U tipi hatlarda çok fonksiyonlu işçi kullanır. Basit bir U-tipi MH Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Eğer giriş ve çıkış şekilindeki gibi yakın olursa bu yerleşim şekli U tipi yerleşim olarak, eğer bu yerleşim içerisinde aynı işçi birden fazla makinede çalışıyorsa, bu durumda da MH U tipi üretim hattı olarak adlandırılır.

U tipi yerleşimde hattın giriş ve çıkışı aynı pozisyonudadır. U şekli için konkav () ve çember formları gibi (Şekil 2.7) değişik varyasyonlardan bahsetmek

mümkündür,. Bu yerleşimin en dikkat çekici ve önemli avantajı üretim miktarındaki değişimlere uyum sağlamada gerekli işçi sayısının arttırılabilme ya da azaltılabilme esnekliğinin sağlanmasıdır.

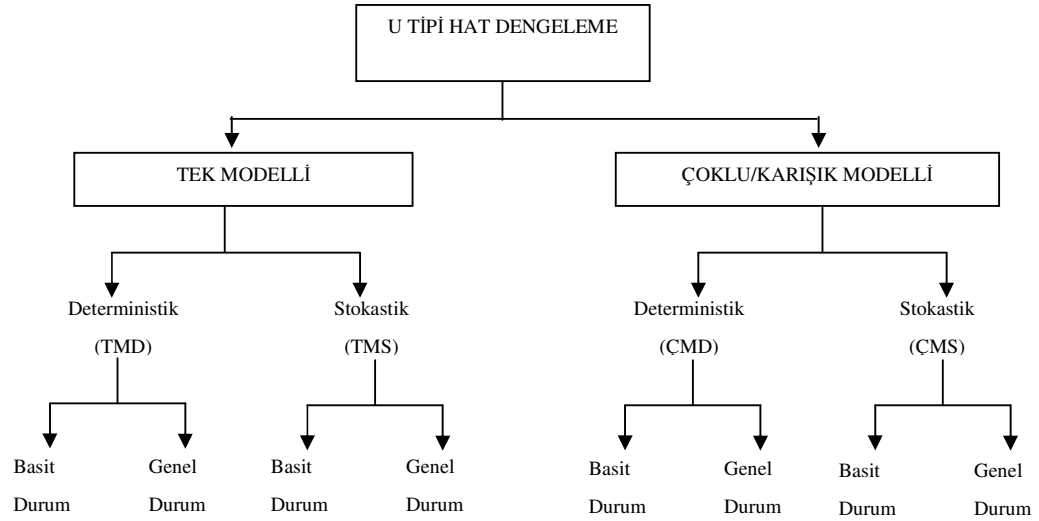


Şekil 2. 7. U tipi hat yerleşimi

GMHDP ile UMHDP arasındaki temel fark; GMHDP’de atanabilir görevler kümesindeki bir ya da birkaç (ya da tüm) görev(ler)in, öncülleri daha önceden atanmış görevler içinden seçilerek ilgili istasyona atanması, U MHD probleminde ise atanabilir görevler kümesinin öncülleri atanmış görevler kümesi ile ardılları atanmış görevler kümesinin birleşiminden oluşmasıdır. İstasyona atanacak görevler bu kümeden seçilecektir [14].

U tipi hatlarda çok fonksiyonlu işçi, birden çok makine ile ilgilenir ve bir çevrim zamanı içerisinde bu makinelerin herbirinde de işlem yapar. İşçi bu makinelerden birine vardığı zaman eğer parçanın işlemi devam ediyorsa işlemin bitmesini bekler ve daha sonra parçayı bir sonraki makineye gönderir. Yeni parçayı boşalan makineye yerleştirir, operasyonu başlatır ve sonraki makineye gider. Burada işçinin çevrim zamanı onun ilk makineye ard arda varışları arasındaki zaman aralığıdır. Bu zaman aralığı bekleme zamanı, operasyon zamanı ve yürüme zamanını içerir [14]. Bu durumda U tipi hat dengeleme problemi genel durum özelliği kazanır. Bekleme zamanı, operasyon zamanı ve yürüme zamanının dahil olmadığı U tipi hat dengeleme problemleri basit durum olarak ifade edilebilir.

Şekil 2.8.’de, U-tipi MHD problemleri için yapılan sınıflandırma şematik olarak verilmektedir [14].



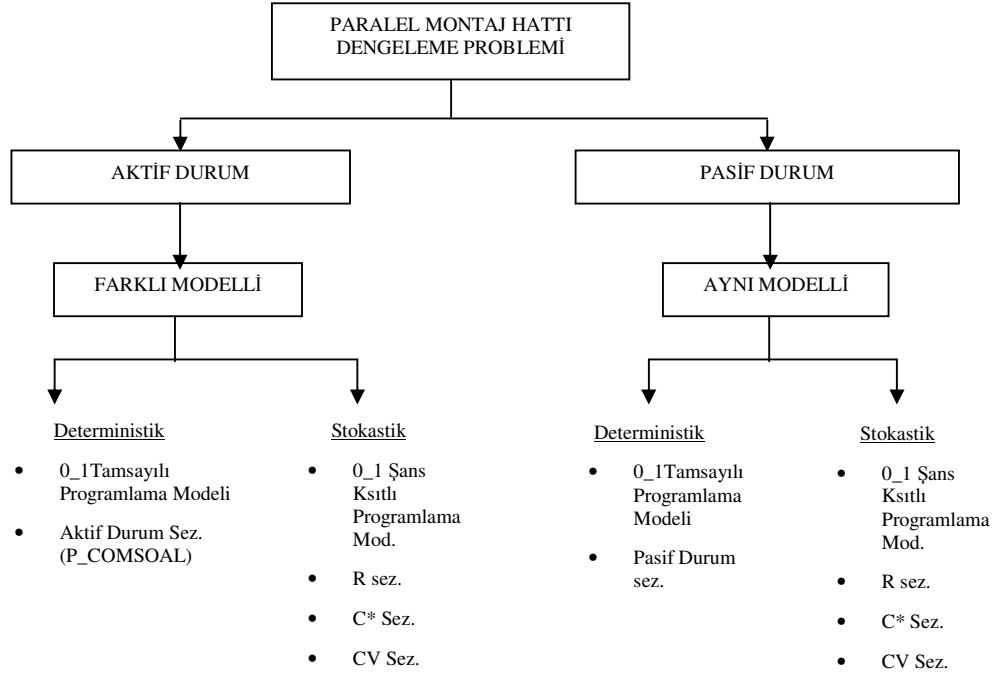
Şekil 2. 8. UMHDP’nin sınıflandırılması

Paralel MHD problemi (PMHDP)

Bu tanım, literatüre Gökçen ve ark. tarafından katılmış bir kavramdır. Literatürde paralel hatların dengelenmesi gibi kavramlara ve çalışmalara rastlanmakta olup, bu çalışmaların Gökçen ve ark. tarafından ifade edilen “Paralel Hat Dengeleme” kavramıyla ilgisi bulunmamaktadır [4].

Paralel hat dengeleme, aynı ya da benzer ürünlerin üretildiği birden fazla paralel hatta istasyonlara görev atamalarının eş zamanlı yapılması ve dolayısıyla kaynak en küçüklemesini hedefleyen yeni bir kavramdır.

Paralel MHD problemleri için sınıflandırma Şekil 2.9’da verilmektedir.



Şekil 2. 9. Paralel MHD probleminin sınıflandırılması

Burada “aynı modelli” ifadesi birden fazla hatta, aynı ürünlerin/modellerin üretilmesini, “farklı modelli” ifadesi ise birden fazla hatta farklı modellerin üretilmesi anlamındadır. Aktif durum birden fazla hattın aynı anda ortak kaynaklarla dengelenmesi, pasif durum ise, birden fazla hattın (genellikle iki) ayrı ayrı dengelenerek, daha sonra ortak kaynakla dengenin iyileştirilmesi anlamındadır.

PMHDP’nin tanımlanan pasif ve aktif durumları için Gökçen ve ark. çalışması ve sadece aktif durumu için de Benzer ve ark. çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar görev zamanlarının deterministik olduğu varsayımı altında oluşturulmuştur [4, 16].

Paralel hatlarda, çok fonksiyonlu esnek operatör, birden fazla hattaki görevlerle ilgilenebilir ve bu görevlerin yapılabilmesi için gerekli bilgiye sahiptir. Operatör bir çevrim zamanı içerisinde her bir hat üzerinde işlemini tamamlar. Operatör bu istasyonlardan birine vardığı zaman eğer parça üzerindeki işlem bitmemişse bu

görevin tamamlanmasını bekler ve bu parça üzerindeki işlem tamamlanınca bir sonraki istasyona gönderir. Diğer hat üzerindeki istasyona geçip buradaki işlemini tamamlayıp, tekrar ilk başladığı hattaki istasyona döndüğünde bir çevrimi bitirmiş olur. İki çevrim arasındaki geçen süre belirlenen çevrim zamanını geçmemelidir.

2.3.2. Görev Zamanlarına Göre MHD Problemleri

MHDP sınıflandırması açısından diğer bir durum ise görev zamanlarına göre sınıflandırmadır. Literatür içerisinde MHDP, görev zamanlarının kesin olarak bilindiği ve sabit olduğu Deterministik MHDP ve görev zamanlarının zamana göre değişim gösterdiği Stokastik MHDP olmak üzere iki grup içerisinde incelenmektedir.

Deterministik MHD problemi

Daha önce de bahsedildiği gibi deterministik MHD probleminde görev zamanları sabit ve belirlidir. Bu problem tipinde genellikle kullanılan performans ölçüsü, boş zaman en küçüklemesidir. Problemin varsayımları şöyledir:

- i. Görev zamanları bilinen sabitlerdir.
- ii. Öncelik diyagramı belirlidir ve bilinmektedir.
- iii. Görevlerin bölünmesine izin verilmez.
- iv. Her bir istasyonda aynı ücret özelliklerine sahip bir işçi yer almaktadır.
- v. Öncelik diyagramında, i görevi j görevinden önce geliyorsa, i görevi herhangi bir istasyona atanmadan j görevi yapılamaz.

Bu varsayımlar altında problem, basit deterministik MHD problemi olarak adlandırılmaktadır. Varsayım (iii) gevşetilerek görevin birden fazla istasyona paylaştırılmasına veya varsayım (iv) gevşetilerek bir istasyon paralellenmesine izin verilebilir. Bu durumda problem genel deterministik MHD problemi olarak adlandırılmaktadır.

Deterministik MHD problemi için boş zamanın en küçüklenmesi amacı altında üç alternatif durum yer almaktadır [3].

- Verilen bir çevrim zamanı (C) için en küçük istasyon sayısının (K) bulunması (Tip I) veya
- Verilen bir K için en küçük C 'nin bulunması (Tip II).
- C ve K 'nin beraberce en küçüklenmesi (Tip E).

Her üç durum için de kısıtlar şu şekildedir.

- Tüm görevler yapılmak zorundadır.
- Bir görev sadece bir istasyona atanabilir.
- Herhangi bir istasyondaki işyükü, çevrim zamanını geçemez.
- Öncelik diyagramında, i görevi j görevinden önce geliyorsa, i görevi herhangi bir istasyona atanmadan j görevi yapılamaz.

Stokastik MHD problemi

Stokastik MHD problemi, deterministik MHD probleminde (i) varsayımının gevşetilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Yani, görev zamanlarının belirli, sabit bir değer olarak değil de bir olasılık dağılımı ile ifade edilmesidir. Görev zamanlarının bilinen bir sabit olması varsayımı, işlerin insan unsurunun da karıştığı ortamlarda yapılması durumunda geçersiz hale gelmektedir. Diğer bir deyişle, insan unsuru iş sürelerinin değişken olmasına yol açmaktadır. Söz konusu değişkenliğin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikteki işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, araç-gereç bozulmaları sayılabilir. Bu durum, istasyonlara atanan işlerin aldıkları toplam sürenin istasyona verilen süreyi (çevrim zamanı) aşmasına ve dolayısıyla bazı işlerin bitirilememesine sebep olabilmektedir. Özellikle işler arasındaki öncelik ilişkileri göz önüne alındığında, bazı işlere hiç başlanamamaktadır. Bu şekilde yarım kalan veya hiç başlanmayan işler için değişik politikalar geliştirilmiştir [17]. Tamamlanamayan bu işlerin oluşturduğu maliyet

(tamamlanmama maliyeti), problemin çözümünde kullanılan performans ölçülerinin değiştirilmesini gerektirmektedir; zira bu maliyet faktörü, toplam maliyetin önemli bir oranına yaklaşabilmektedir.

Stokastik MHD problemi için varsayımlar şunlardır:

- i. Görev zamanları parametreleri bilinen bir olasılık dağılımına uymaktadır.
- ii. Bir görev birden fazla istasyona atanamaz.
- iii. Öncelik diyagramı belirlidir ve bilinmektedir.
- iv. İstasyonlar arası stok tutulmasına izin verilmemektedir.
- v. Bir görev, ancak kendisinden önceki görevler tamamlandıktan sonra başlayabilir.
- vi. Her bir istasyonda aynı ücret özelliklerine sahip bir işçi yer almaktadır.

(ii), (iii), (iv), (v), (vi) varsayımları deterministik durum için var olan varsayımlarla aynıdır; (i) varsayımı ile stokastik durum ifade edilmektedir. Literatürde genelde (i) varsayımındaki olasılık dağılımı için normal dağılım kullanılmaktadır [18-24].

Söz konusu problem kullanılan amaç fonksiyonuna göre iki ana gruba ayrılabilir:

1) Birinci grupta amaç fonksiyonları deterministik problemlerdeki amaç fonksiyonuna benzer niteliktedir. Problemin çözümü için deterministik problemlere yönelik geliştirilmiş yöntemlerin değiştirilmesiyle elde edilmiş yöntemler kullanılmaktadır. İki temel yaklaşım içermektedir: Birinci yaklaşım istasyonlardaki iş süreleri toplamının çevrim zamanının belli bir oranını geçmemesi koşuluyla işgücü maliyetini en küçüklemekte, ikinci yaklaşım ise istasyonlara atanan işlerin verilen çevrim zamanı içinde tamamlanabilme ihtimallerinin belli bir değerden küçük olmaması şartıyla işgücü maliyetini en küçüklemektedir. Amaç, işçilik maliyeti düşürülürken, tamamlanmama maliyetinin çarpanı olan tamamlanmama olasılığını kabul edilebilir bir sınır altında tutmaktır. Bu grup Tip 1 stokastik MHD problemi olarak adlandırılmaktadır [25].

2) Tip 2 stokastik MHD problemi olarak adlandırılan ikinci grupta, tamamlanmama olasılığı nedeniyle ortaya çıkan tamamlanmamalar dikkate alınır ve maliyet fonksiyonunda ifade edilir. İş gücü maliyeti ile görevlerin tamamlanmama maliyeti birlikte toplam maliyeti oluşturur. Geliştirilen amaç fonksiyonları toplam maliyetin en küçüklenmesi şeklindedir. Tip 2 için geliştirilen yöntemler, stokastik MHD problemine özgü olarak geliştirilmiş yöntemlerdir [25].

2.4. MH'de Paralellik Kavramı

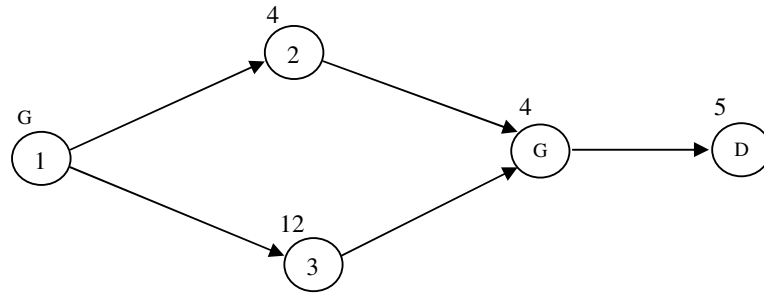
Yüksek üretim oranına erişmek için değişik alternatif yollar bulunmaktadır. Örneğin, fazla mesai, başka montaj hattı, taşeron, tampon stoklar ve paralelliğin kullanımı [26]. Pinto ve ark. paralellenmiş hattın çoğu durumlarda üretimi artıran diğer alternatiflerden daha az maliyetli olabildiğini ispatlamaya çalışmışlardır [27].

Geleneksel MHDP'deki ana varsayım, hattın seri olması yani görev ve istasyonların paralelliğinin olmamasıdır. Her bir görev belirli bir istasyona atanır ve herhangi iki istasyon aynı görevi yapamaz. Paralellik belirli bir görevin birden fazla istasyonda yapılmasına imkan sağlar ve bunun için de ilave tesis maliyetinin dikkate alınmasını gerektirir [28]. Montaj hattında paralellenecek görevlerin seçilmesi ise oldukça karmaşık bir problemdir [27]. Paralelliğin bir diğer faydası da sistem güvenilirliği ile ilgilidir. Bir seri hatta, herhangi bir istasyonun arızası, tüm hattın durmasına sebep olabilir. Paralellenmiş bir istasyonun arızası ise, işlemlerin devam etmesini engellemez [29].

Paralel istasyonlu MH, hat boyunca belirli noktalarda denk iş istasyonlarının açılmasına izin verilen hatlardır. Paralellik, hattı çeşitli şekillerde düzenlemek için kullanılır. Paralellik sayesinde hattın etkinliği arttırılabilir ve çevrim zamanını geçen iş istasyonları tolere edilebilir [30].

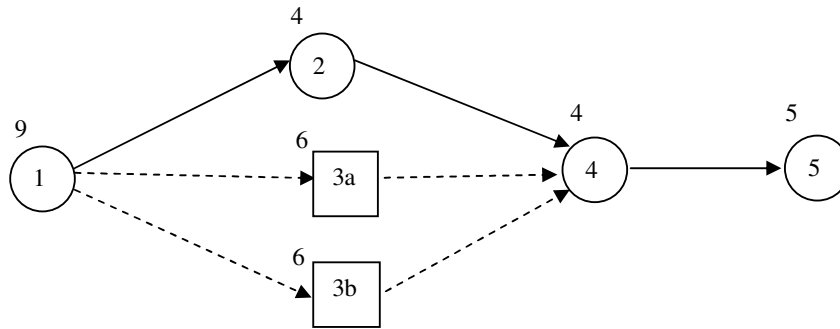
2.4.1. Görevlerin paralellliği

Görevlerin paralellliği, bir montaj hattında, görevlerden herhangi birisinin ya da birkaçının çevrim zamanını geçmesi durumunda, görevlerin arzu edilen bir paralellik seviyesi ile (seviye n : görevin $n-1$ tekrarı) paralel hale getirilmesidir. Basit bir örnekle izah edilirse; 5 görevli bir hattın öncelik diyagramı Şekil 2.10'da verilmiştir. Gerekli üretim oranının saatte 6 birim olduğu varsayılırsa; bu üretimi karşılamak için gerekli çevrim zamanı $C=60/6=10$ dk/br. olarak hesaplanır.



Şekil 2. 10. Beş görevli öncelik diyagramı

Şekil 2.10'da, 3 numaralı görev çevrim zamanını aştığında arzu edilen üretim oranını karşılamak için ilave işgücüne ihtiyaç olduğu görülmektedir. Şekil 2.10'daki 3 nolu görevin 1 paralellik seviyesiyle paralellenmesi Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



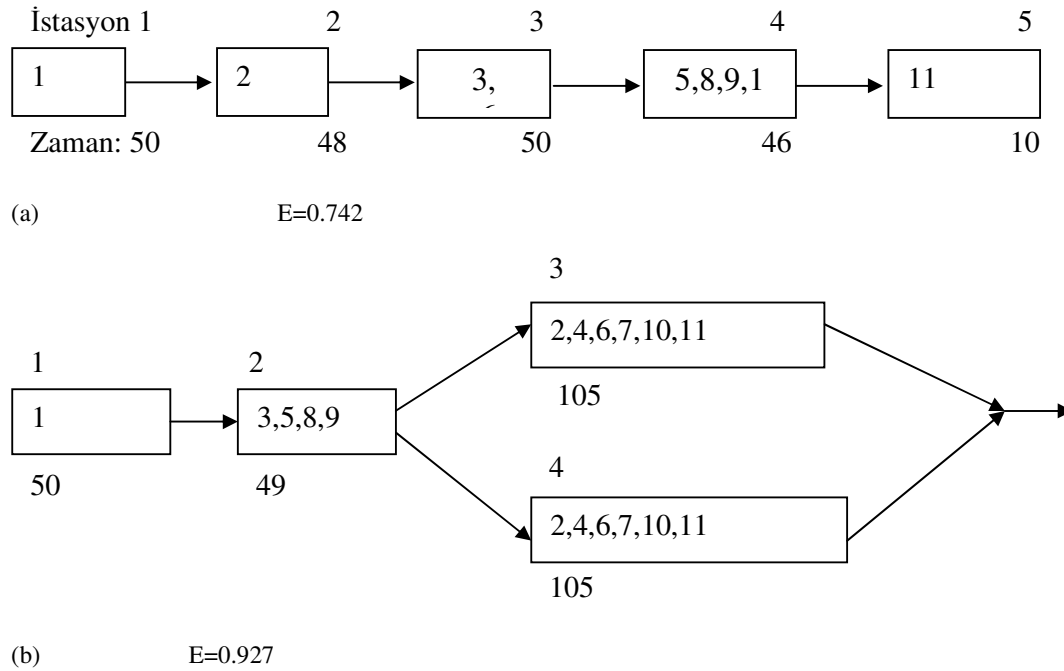
Şekil 2. 11. 3 nolu görevi paralellenmiş öncelik diyagramı

Paralellığe izin verilmediğinde, C 'nin 12'ye çıkarılması gerekmektedir. Yani üretim oranı, istenilen zamanda karşılanamamaktadır. Bu durumda dengenin sağlanması için

4 istasyon ([1], [3], [2,4], [5]) gerektiği görülmektedir. Paralellığe izin verildiğinde, arzu edilen üretim oranı $C=10$ ile karşılanabilmektedir. Gerekli istasyon sayısı 4'tür ([1], [2,3a], [3b,4], [5]). Paralel görev ilave maliyet gerektireceğinden, fayda maliyet analizi ile paralelliğin yapılıp yapılmamasına ya da paralellik seviyesinin ne olacağına karar verilmesi gerekmektedir. Montaj hattında herhangi bir görevin çevrim zamanını geçmemesi durumunda dahi görevlerin paralellenmesi ile fayda sağlanabilmektedir.

2.4.2. İstasyonların paralelliği

Bu kavram, görevlerden ziyade, görevlerin atandığı istasyonların paralel hale getirilmesi ile ilgilidir. Şekil 2.12 (a)'da 11 görevli ve $C=55$ olan bir problem için eniyi denge ve hattın etkinliği, Şekil 2.12 (b)'de ise aynı problem için paralel istasyonlu denge ve hattın etkinliği ve ayrıca Çizelge 2.2'de istasyonlardaki görevlerin görev zamanları verilmiştir [29].



Şekil 2. 12. Seri istasyonlu (a) ve paralel istasyonlu (b) iki denge

Çizelge 2. 2. Görev Zamanları

Görev No	Görev Zamanı	Görev No	Görev Zamanı
1	50	7	11
2	48	8	17
3	11	9	12
4	16	10	8
5	9	11	10
6	12		

Paralelliğin olmadığı dengede hat, 5 istasyonla % 74 etkinlikte çalışırken, paralel istasyonlardan oluşan dengede hat, 4 istasyon ve % 92 etkinlikte çalışmaktadır.

2.4.3. Paralel istasyonların faydaları

Paralel istasyonların faydaları maddeler halinde aşağıda listelenmiştir.

- Boş zamanlar azalır.
- Hattın dengesi artırılır.
- Alternatif düzenlemelerle üretim oranının artırılması sağlanır.
- Üretim oranı arttığı için, çevrim zamanı azaltılabilir.
- Maliyetler düşürülebilir.

2.4.4. Paralel istasyonların dezavantajları

Yukarıda bahsedilen faydaları yanında dezavantajları da şu şekilde sıralanmaktadır;

- Yerleşim alanı kısıtlı olduğunda uygulanmasında sıkıntılar yaşanabilir.
- Yüksek esnekliğe sahip operatörlere gereksinim duyulduğundan, eğitim ve koordinasyon sağlanması gereklidir. Dolayısıyla ek eğitim maliyeti gerektirmektedir.
- İstasyonun Çevrim zamanı iki katına çıkmış olduğundan dolayı bu istasyona atanan görev sayısı artmaktadır. Bu sebeple operatör üzerindeki olumsuzluk daha fazla göreve etki ederek kalite problemlerine yol açmaktadır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

MHD problemi üzerinde 1955'ten günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Literatürün genişliği nedeniyle sadece stokastik tek modellenli MHD ve U tipi MHD problemi üzerine yapılan çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında yer almadığından Deterministik geleneksel tek modellenli ve çok modellenli MHD problemi üzerine yapılan çalışmalara burada yer verilmemiştir. Konuyla ilgili daha geniş bilgi için Baybars [31], Ghosh ve Gagnon [4], Erel ve Sarin [32], Scholl ve Becker [13] ve Becker ve Scholl'un [33] literatür tarama çalışmalarına bakılabilir.

3.1. Stokastik Geleneksel MHD Problemi

MHD literatürüne genel olarak bakıldığında yapılan çalışmaların büyük bir kısmı deterministik durumla ilgilidir. Stokastik durumlar için yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bunun en temel sebebi problemin karmaşık bir matematiksel yapıya sahip olmasıdır.

Modie ve Young [18], görev tamamlanması için verilen belirli bir güven aralığı sağlanacak şekilde görev zamanlarının değişkenliğini göz önüne almıştır. Bu çalışmada görev zamanlarının olasılık dağılımı için normal dağılım varsayımı yapılmıştır.

Mansoor ve Ben-Tuvia [34], görev zamanlarındaki değişkenliği dikkate alarak belirli ve dengeli bir hat tasarımı için etkinliğin artırılmasını amaçlamışlardır.

Reeve ve Thomas [35], tip 1 problemi için başlangıç çözümü belirli olan bir hattın çevrim zamanını aşmayacak şekilde iş elemanlarını yeniden düzenleyerek dört çözüm yöntemini karşılaştırmışlardır. Yöntemler, yer değiştirme-transfer, dal-sınır, sezgisel dal-sınır, sezgisel dal-sınır ile yer değiştirme-transferin birleşimidir.

Kottas ve Lau [19], stokastik MH için maliyet tabanlı bir sezgisel sunmuşlardır. Çalışmada görev zamanlarının normal dağılıma uyduğu, tamamlanmama durumunda

ise birimin hatta devam ederek öncelik diyagramının izin verdiği görevlerin yapıldığı, yapılamayan görevlerin ise hat dışında yapıldığı varsayılmıştır. Geliştirilen sezgisel, çözüm zamanı açısından etkin olmasına rağmen, tek bir sonuç sunmakta, farklı çözümler incelememektedir.

Sphicas ve Silverman [36], stokastik MHD problemi için deterministik MHD algoritmalarının uygulanabilirliğini tartışmıştır.

Kottas ve Lau [20], önceki çalışmalarına ek olarak tüm tamamlanmama kombinasyonlarını göz önüne alarak dengelenmiş hatlar için yeni bir maliyet fonksiyonu sunmuşlardır. Bu maliyet fonksiyonu tamamlanamama durumlarının olasılıkları göz önüne alınarak tanımlanmıştır.

Kao [37], öncelik ilişkilerini göz önüne alarak tip I stokastik MHD problemi için istasyon sayısının en küçüklenmesini amaçlayan ve yönetim tarafından belirlenmiş çevrim zamanını aşma olasılığını aşmayacak şekilde dengeleme sağlayan bir dinamik programlama (DP) algoritması geliştirmiş, yine Kao [38] çalışması ile bilgisayar çözümünü hızlandırabilecek tercih ve sıralama prosedürü ve buna uygun programlama stratejisi önermiştir.

Diğer iki çalışmasını temel alan Kottas ve Lau [21], rassallık içeren ve farklı çözümleri inceleyen bir sezgisel yaklaşım kullanmış, elde edilen sonuçlar içinden geliştirdikleri maliyet fonksiyonuna göre en iyi değeri veren çözümü olarak sonuca ulaşmışlardır.

Raouf ve Tsui [39], değişim katsayı yanlılığına dayalı farklı olasılık dağılımlara sahip stokastik hatlar için bir sezgisel önermiştir. Burada işlere öncelik tanımı yapılmakta ve buna göre atama yapılması sağlanmaktadır. Böylece çevrim zamanından sapmanın en aza indirilmesini sağlamışlardır.

Shtub [40], stokastik görev zamanlı ve iş istasyonlarına birden fazla operatörün atanması durumu olan hatların tasarımı için bir sezgisel geliştirmiştir. Bu sezgiselin

ana amacı, görev tamamlanmama maliyeti, işçilik maliyeti, ara stok maliyeti ve tesis yerleşim maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin en küçüklenmesini sağlamaktır.

Silverman ve Carter [41], stokastik hatlarda istasyon zamanının aşılması durumunda ihtiyaç olan zaman kadar tüm hattın durdurulduğunu göz önüne alarak bir maliyet fonksiyonu geliştirmiştir. Stokastik maliyet fonksiyonu etkin bir dengeleme algoritmasına bütünleştirilerek yaklaşık en küçük maliyetli denge oluşturulmaya çalışılmıştır. Fakat geliştirilen fonksiyonun uygulanması, içerdiği matematiksel ifadelerin karmaşıklığı nedeniyle zordur.

Henig [42], çalışmasında çevrim zamanının en küçüklenmesi, istasyon sayısının en küçüklenmesi ve istenilen güven seviyesinin en büyüklenmesi amaçları için Dinamik Programlama (DP) modelleri geliştirmiştir.

Lau ve Shtub [24], tamamlanmadığı durumda hattın durmasına etki edecek görevler ve hat dışında tamamlanabilecek görevler olmak üzere iki görev kümesi oluşturmuş, dengelemeyi görevlerin bu özelliklerine göre yapmıştır.

Shin [23], istasyon zamanlarına bağlı bir maliyet fonksiyonu geliştirmiş ve toplam maliyeti en küçükleyen çevrim zamanını bulmayı amaçlayan bir sezgisel önermiştir. Sezgisel aynı zamanda her bir iş istasyonu belirli çevrim zamanı ve değişkenliği için gerekli emniyet zamanlarını da araştırmaktadır.

Sarin ve Erel [43], yaptıkları çalışmada tek modellenli stokastik MHD problemi için toplam işçilik maliyetini ve beklenen tamamlanamama maliyetlerini içeren yeni bir maliyet modeli geliştirerek, DP modellerinde nasıl kullanılacağını göstermiştir.

Suresh ve Sahu [22], tavlama benzetimi kullanarak stokastik MHD problemi için hat durmasının en küçüklenmesini amaçlamışlardır. Böylece yüksek görev sayısına sahip hat problemlerine uygun çözümler üretmeye çalışmışlardır.

Nkasu ve Leung [44], iki aşamadan oluşan bir çözüm yöntemi önermiştir. Birinci modülde COMSOAL sezgiselinin değiştirilmiş bir versiyonu ile çözüm üretilmiş, bu şekilde istasyon sayısının en küçüklenmesi, denge gecikmesinin en küçüklenmesi ve çevrim zamanının en küçüklenmesi ya da bunların birleşimini sağlayacak dört amaç fonksiyonu ele alınmıştır. İkinci modül ile simülasyon yapılarak sistem denenmiştir.

McMullen ve Frazier [45], stokastik işlem zamanlı ve görevlerin paralelleştirilebildiği karışık modelli montaj hattı problemlerinin çözümü için bir yöntem geliştirmişlerdir. Çözümler altı değişik problem için uygulanmış ve yerleşimler simülasyon aracılığı ile incelenerek çeşitli performans kriterleri açısından değerlendirilmiştir.

Sarin ve ark. [46] tarafından, tek modelli stokastik MHD problemi için başlangıç çözümünün DP ile bulunduğu, daha sonra dal-sınır yöntemiyle çözümün geliştirildiği bir yöntem sunulmuştur.

Gökçen ve Baykoç [17], stokastik görev zamanlı MHD problemlerinde tamamlanamayan işleri seyyar bir istasyon vasıtasıyla yaptırarak bu işlerin hattın etkinliğine olan etkisini azaltmıştır. Bu çalışmanın etkisini görmek için simülasyon kullanılmıştır.

Liu ve ark. [47], tip II problemi için stokastik görev zamanlı durumda bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Bunun için üç aşamalı bir yöntem uygulamışlar, birinci aşamada ileri veya geri yönlü olarak görevler iş istasyonlarına atanmış, ikinci aşamada, görevler, istasyonlar arasında değiştirilerek düzgünlük sağlanmış ve son olarak da ikinci aşamadan elde edilen çevrim zamanı altsınırı düşürülerek en düşük çevrim zamanı elde edilmiştir.

Gamberini [48], stokastik görev zamanlı MH'nin yeniden dengelenmesinde yeni çok amaçlı sezgisel bir algoritma geliştirmiştir. Bunu yaparken de birim tamamlanmama ve birim işçilik maliyetlerinin düşürülmesi ve değişen hattın yeniden dengelenmesi

amaçlanmıştır. Yeni çözümün ilk denge ile karşılaştırılmasında TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır.

3.2. Stokastik U Tipi MHD Problemi

Buraya kadarki kısımda geleneksel MHD problemi ile ilgili literatür çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmaların paralelinde son 20 yılda gelişen U tipi MHD problemleri için Miltenburg'un [49] tarama makalesi incelenebilir. Bunlara ek olarak U-tipi MHD problemi için stokastik işlem zamanlı görevlerin bulunduğu durum şu çalışmalarla ele alınmıştır:

Stokastik U tipi MHD problemi için ilk çalışma Ohno ve Nakade'ye [50] aittir. Bu çalışmada stokastik U tipi hat dengeleme probleminin genel durumu için dengelenmiş bir hattın beklenen çevrim zamanının alt ve üst sınırlarının tespiti üzerinde durulmuştur. Nakade ve Ohno [51,52], stokastik durum analizi yapmışlar ve deterministik genel durum için hat dengeleme algoritması geliştirmişlerdir.

U tipi MHD problemi için literatürde görev zamanlarının stokastik olduğu durum için hattı dengelemeye yönelik ilk çalışma Sparling [53] tarafından yapılmıştır. Çalışma bir doktora tezi olup dengelemeye yönelik iki yöntem önerilmiştir. Bunlar dinamik programlama ve tavlama benzetimi yöntemleridir. Dinamik programlama yöntemiyle deterministik MHD probleminde 11 göreve kadar çözüm geliştirildiği bilinmektedir. Problem boyutu büyüdükçe yöntemin uygulanabilirliği güçleşmektedir. Sparling'in [53] çalışmasında yöntem önerilmiş fakat yöntemin uygulanabilirliği ile ilgili herhangi bir şey bildirilmemiş ve yalnızca 7 göreve sahip bir problem çözülerek sonuçları gösterilmiştir. Aynı çalışmada önerilen bir diğer yaklaşım, tavlama benzetimidir. Yönteme ait geniş bir algoritma verilmiş, test problemleri üzerinde etkinliği ve çözüm kalitesi hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir. Önerilen her iki yöntem de tip 1 türündedir.

Chand ve Zeng [54], çalışmalarında görev zamanlarının stokastik olduğu durumda geleneksel hatlar ile U tipi hatların performansını karşılaştırmıştır. Performans

tespitinde benzetim ve analitik yaklaşımlar kullanılmıştır. Sonuç olarak görev zamanlarının deterministik olduğu durum için U tipi hatların en az geleneksel hatlar kadar iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ortalama zamanlar görev zamanı olarak kabul edilip hatlar varyanslar dikkate alınmadan dengelendiğinde ise stokastik durum için U tipi hatların geleneksel hatlara göre daha az verimli olduğunu belirtmişlerdir.

Guerriero ve Miltenburg [55] yaptıkları çalışmada, stokastik U tipi MHD problemi için en kısa yol (shortest path) algoritması önermişlerdir. Yöntemin küçük boyutlu bir problem (3 görev) üzerinde yürüme zamanlarının da eklendiği durum için çözümü gösterilmiştir. Yöntemin yine küçük boyutta (30 göreve kadar) test problemleri üzerinde denenmesi yapılırken yürüme zamanları göz ardı edilmiştir. 30 görevden sonra yöntemin etkinliğinin azaldığı, çözüm zamanının arttığı görülmüştür.

Erel ve ark. [56], stokastik U tipi hatların dengelenmesinde maliyet en küçüklemesi tabanlı doğrudan arama (beam search) yöntemini kullanmışlardır. Doğrudan arama metodu dal-sınır yönteminin bir uygulaması olarak göze çarpmaktadır.

Chiang ve Urban [57], stokastik U tipi MH'nin dengelenmesi için başlangıç çözümü bulan ve bu çözümü geliştiren iki aşamalı bir sezgisel yöntem oluşturmuşlardır. Bu sezgiseli literatürdeki modeller üzerinde çeşitli değişim katsayıları ile denemişlerdir.

Urban ve Chiang [58], stokastik U tipi MHD problemi için kısmi doğrusal bir matematiksel programlama yöntemi geliştirmişlerdir.

Ağpak ve Gökçen [59], stokastik U tipi MHD problemleri ve geleneksel MHD problemlerinin en iyi çözümüne yönelik olarak şans kısıtlı 0-1 tamsayılı bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Bunlara sistem güvenilirliğini artırmak için bir amaç programlama yaklaşımı da eklenmiştir.

3.3 Paralel MHD Problemi

Bu tez kapsamında ortaya konulan yeni problem tanımıyla ilgili olarak literatürde temel alınan birkaç araştırma bulunmaktadır. Bu tezde ortaya konulan yeni problem tanımında, geleneksel düz hatlardan, U-tipi hatlardan ve geleneksel paralellik kavramından basit esinlenmeler bulunmaktadır.

Bu nedenle sunulan bu yeni problem tanımında özellikle geleneksel ve U-tipi hatların dengelenmesinden basit esinlenmeler olduğu için U-tipi hatlarla ilgili temel çalışmalar ile yine literatürde bulunan ve tez çalışmasıyla sadece isim benzerliği bulunan çalışmalarla ilgili literatür araştırmasının verilmesi yoluna gidilmiştir.

Literatürde çalışmanın konusu ile isim olarak benzerlik gösteren paralel hatlar konusunda yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Süer ve Dağlı [60] paralel montaj hattında sezgisel bir prosedür tasarlamış ve dinamik olarak hat sayısını belirleyen bir algoritma geliştirmişlerdir. Aynı zamanda Süer [61], tek ürün için alternatif montaj hattı tasarım stratejileri üzerine de çalışmıştır. Bu çalışmasındaki amacı, en küçük toplam insangücü ve MH sayısını belirlemektir. Bunun için Süer [61], 3 fazlı bir metodoloji önermiştir. 1) montaj hattının dengesi, 2) paralel istasyonların belirlenmesi, 3) paralel hatların belirlenmesi.

MH’de, hattın etkinliğinin artırılması için görevler ya da istasyonların paralel hale getirilmesi (paralellenmesi) durumuna Freeman ve Jucker [62], Buxey [63], Pinto ve arkadaşları [27], Johnson [64], Sarker ve Shantikumar [65], Bard [29], Reiter [66], Akagi ve ark. [26], Bukchin ve Tzur [30], Bukchin ve Rubinovitz [28], Simaria ve Vilarinho [67], Askin ve Zhou [68], McMullen ve Frazier [45], Vilarinho ve Simaria [69]’nin çalışmalarında rastlanabilir. Bunların bir kısmı, dengeleme esnasında paralel yapılacak görev ya da istasyonlardan kaynaklanan görev ve ekipman maliyetlerini de dikkate alarak modellerini geliştirmişlerdir. Şu ana kadar paralellikle ilgili yapılan çalışmaların tamamı, dengeleme esnasında görev ya da istasyonların paralel yapılmasıyla ilgili çalışmalardır.

Bu çalışmaların üzerine, tez çalışmamıza temel oluşturan ve literatüre yeni bir problem olarak giren PMHDP; ilk kez Gökçen ve ark. [4] tarafından ele alınmıştır. Bu çalışma içerisinde PMHDP için 0-1 tamsayılı Matematiksel Programlama modeli geliştirilmiş, büyük boyutlu problemlerin çözümü için iki tane sezgisel oluşturulmuş ve bu problemin araştırılması için de test problemleri üretilmiştir. Tez çalışmamızda Gökçen ve ark [4] çalışması temel alınarak, stokastik görev zamanlı PMHDP oluşturulmuştur. Böylece gerçek hayat problemlerine daha yakın çözümler elde edilmiştir.

Bir diğer çalışma ise Benzer ve ark. [15] tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışma içerisinde küçük boyutlu PMHDP için en iyi çözüm veren bir ağ çözümü yaklaşımı ortaya konulmuştur.

Bu tez çalışması içerisinde ele alınan Stokastik PMHDP, bu problem için ele alınan ilk çalışma olacaktır.

4. STOKASTİK PARALEL MHD (SPMHD) PROBLEMİ İÇİN ŞANS KISITLI MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODELİ

MHD problemleri için stokastik durum ile deterministik durum arasındaki temel farklılık, stokastik durumda görev zamanlarının belirli bir olasılık dağılımına göre değerler alması, deterministik durumda ise görev zamanlarının sabit değerler almasıdır.

Bu nedenle SPMHDP için matematiksel model geliştirilirken, deterministik durum için literatürde Gökçen ve ark. tarafından [4] geliştirilen tam sayılı programlama modeli temel alınmış ve bu model Charnes ve Cooper [70-72] tarafından ortaya atılan şans-kısıtlı (*chance-constrained*) programlama tekniği ile yeniden modellenmiştir. Böylelikle problemin olasılıklı yapısı, eşdeğer deterministik duruma dönüştürülmüştür.

Paralel hat tanımı literatüre Gökçen ve ark. [4] araştırmaları ile eklenmiştir. Literatürde paralel hatların dengelenmesi gibi kavramlara ve çalışmalara Süer ve Dağlı [60] ve Süer'in [61] eserlerinde rastlanılmaktadır, fakat bunun paralel MHD kavramıyla ilgisi bulunmamaktadır.

Paralel MHD, aynı ya da benzer ürünlerin üretildiği birden fazla paralel hatta istasyonlara görev atamalarının eş zamanlı yapılması ve dolayısıyla kaynak en küçüklemesini hedefleyen yeni bir kavramdır [11].

Deterministik Paralel MHD problemi için Gökçen ve ark. [4] tarafından geliştirilen tam sayılı programlama modelinde kullanılan notasyonlar aşağıda verilmektedir.

C : Çevrim zamanı

x : Deneme sayısı, $x=1, \dots, X$

h : Hat sayısı, $h=1, \dots, H$

k : İstasyon sayısı, $k=1, \dots, K$

d_k : k istasyonun boş zamanı

RN : $(1,m)$ dizisi içindeki rassal sayı

$\|M_{hk}\|$: h hattındaki k istasyonuna atanabilen görevlerin toplam sayısı

L_h : Hat h

n_h : h hattındaki görevlerin sayısı

t_{ih} : h hattındaki i görevinin zamanı.

K_{min} : Teorik en küçük istasyon sayısı

K_{max} : En büyük istasyon sayısı

P_h : h hattının öncelik diyagramındaki öncelik ilişkilerinin kümesi

$$x_{hik} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } h \text{ hattındaki } i \text{ görevi } k \text{ istasyonuna atanmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$U_{hk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ istasyonu } h \text{ hattında kullanılmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$s_k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ istasyonu kullanılmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

Deterministik Paralel MHD problemi (DPMHD) için Gökçen ve ark. [4] modeli aşağıda verilmektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu : Min } \sum_{k=\lceil K_{min} \rceil}^{K_{max}} s_k \quad (4.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} x_{hik} = 1 \quad \text{tüm } i = 1, \dots, n_h \quad h = 1, \dots, H \text{ için} \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^{n_h} t_{hi} * x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} t_{(h+1)i} * x_{(h+1)ik} \leq Cs_k \quad \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max} \quad h = 1, \dots, H - 1 \text{ için} \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^{n_h} x_{hik} - \|M_{hk}\| U_{hk} \leq 0 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \quad (4.4)$$

$$U_{hk} + U_{(h+a)k} = 1 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H - 2; a = 2, \dots, H - h; k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \quad (4.5)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{\max}} (K_{\max} - k + 1)(x_{hrk} - x_{hsk}) \geq 0 \quad \text{tüm } \forall (r, s) \in P_h \text{ için} \quad (4.6)$$

$$x_{hik}, z_k, U_{hk} \in \{0,1\} \text{ tüm } i, j \text{ için}$$

Modeldeki 4.2 nolu eşitlik, hatlardaki görevlerin istasyonlara sadece 1 defa atanmasını sağlamaktadır. Böylelikle görevlerin birden fazla istasyona atanması engellenmiş olur. Eşitsizlik 4.3 ile herhangi bir istasyondaki görev zamanları toplamının çevrim zamanını aşmaması temin edilmiştir. Eşitsizlik 4.4 ve 4.5 operatörün sadece bitişiğindeki hattın (örneğin, h hattındaki operatör $h+1$ ve $h-1$ hattındaki görev / görevlerde çalışabilir) olmak üzere hangi k istasyonu ve h hattındaki görev / görevlerde çalışabileceğini belirtmektedir. Eşitsizlik 4.6 ile ardıllık ilişkilerinin bozulmasına engel olunmaktadır. Amaç fonksiyonunda amaçlanan ise istasyon sayısının en küçüklenmesidir.

Görev zamanları model içinde katsayı olarak Eş. 4.3 dışında yer almamaktadır. Bu nedenle model stokastik durum için düşünüldüğünde sadece bu eşitsizlik değişime uğrayacaktır.

4.1. Stokastik Paralel MHD Problemi için Şans Kısıtlı 0-1 Tamsayılı Programlama Modeli

Geliştirilen yeni şans kısıtlı 0-1 tamsayılı programlama modelinin amacı, istasyona atanan görev zamanları toplamının istasyon zamanını aşma olasılığının belirlenen α seviyesinin altında kalacak şekilde ($P_k \leq \alpha$) en küçük istasyon sayısı ile dengelemeyi yapmaktır. Model içerisinde stokastik durumu ifade eden görev zamanlarının normal olasılık dağılımına uyduğu kabul edilmiştir [17-23, 58].

Görev zamanı t_{hi} , $t_{hi} \sim N(\mu_{hi}, \sigma_{hi}^2)$ iken $Y = \sum_{i=1}^{n_h} t_{hi} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} t_{(h+1)i}$ alınır,

$$Y \sim N\left(\sum \mu_{hi} + \sum \mu_{(h+1)i}, \sum \sigma_{hi}^2 + \sum \sigma_{(h+1)i}^2\right)$$

$$z = \frac{Y - (\sum \mu_{hi} + \sum \mu_{(h+1)i})}{\sqrt{\sum \sigma_{hi}^2 + \sum \sigma_{(h+1)i}^2}} \text{ dönüşümü ile } z \sim N(0,1) \text{ olur.}$$

Çevrim zamanının istasyon zamanını aşma olasılığı en fazla α olacağından,
 $P(Y > C) \leq \alpha$ yazılabilir. Biraz daha düzenleme yapılırsa $1 - P(Y \leq C) \leq \alpha$ veya
 $P(Y \leq C) \geq 1 - \alpha$ olur. Buradan z dönüşümü yapılırsa Eş. 4.7 elde edilir.

$$P\left(z \leq \frac{C - (\sum \mu_{hi} + \sum \mu_{(h+1)i})}{\sqrt{\sum \sigma_{hi}^2 + \sum \sigma_{(h+1)i}^2}}\right) \geq 1 - \alpha \quad (4.7)$$

$P(z \leq z_{1-\alpha}) = 1 - \alpha$ olduğundan, Eş. 4.7'den Eş. 4.8 veya 4.9 elde edilir.

$$\sum \mu_{hi} + \sum \mu_{(h+1)i} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum \sigma_{hi}^2 + \sum \sigma_{(h+1)i}^2} \leq C \quad (4.8)$$

$$P\left(\sum \mu_{hi} + \sum \mu_{(h+1)i} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum \sigma_{hi}^2 + \sum \sigma_{(h+1)i}^2} \leq C\right) = 1 - \alpha \quad (4.9)$$

Eş. 4.9'a 0-1 görev değişkeni x_{hik} eklendiğinde sonuç olarak Eş. 4.10 yani yeni çevrim zamanı kısıtı elde edilir. Bu kısıt yeni modelde deterministik modeldeki çevrim zamanı kısıtlarının yani Eş. 4.3'ün yerini alacaktır.

$$\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik}} \leq C * s_k \quad (4.10)$$

tüm $k = 1, \dots, K_{\max}$ $h = 1, \dots, H - 1$ için

Yeni kısıtlar kullanılarak stokastik Paralel MHD (SPMHD) problemi için şans-kısıtlı programlama modeli aşağıda verilmektedir.

$$\text{Amaç Fonksiyonu: Min } \sum_{k=\lceil K_{\min} \rceil}^{K_{\max}} s_k \quad (4.11)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K_{\max}} x_{hik} = 1 \quad \text{tüm } i = 1, \dots, n_h \quad h = 1, \dots, H \text{ için} \quad (4.12)$$

$$\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik}} \leq C * s_k \quad (4.13)$$

tüm $k = 1, \dots, K_{\max}$ $h = 1, \dots, H - 1$ için

$$\sum_{i=1}^{n_h} x_{hik} - \|M_{hk}\| U_{hk} \leq 0 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \quad (4.14)$$

$$U_{hk} + U_{(h+a)k} = 1 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H - 2 \quad a = 2, \dots, H - h \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \quad (4.15)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{\max}} (K_{\max} - k + 1)(x_{hrk} - x_{hsk}) \geq 0 \quad \text{tüm } \forall (r, s) \in P_h \text{ için} \quad (4.16)$$

$$x_{hik}, s_k, U_{hk} \in \{0, 1\} \text{ tüm } h, i, k, \text{ için}$$

Geliştirilen model bir 0-1 doğrusal olmayan (*non-linear*) modeldir. Deterministik durum için kullanılan doğrusal model ile en fazla 30 ve 28'lik görevli iki hattan oluşan Sawyer problemi için çözüm gerçekleştirilebilmiştir. Dolayısıyla geliştirilen model ile çok daha küçük boyuttaki problemler için çözüme ulaşılması beklenmektedir. Bu nedenle, modelin doğrusallaştırılması yoluyla çözülebilecek problem boyutunun artırılması amaçlanmıştır.

Bunun için Ağpak ve Gökçen'in [59] çalışmasında kullanılan iki doğrusallaştırma yaklaşımı bu model için de uygulanmıştır. Birinci doğrusallaştırma yaklaşımıyla yaklaşık çözümlere ulaşılabilirken, ikinci yöntemle doğrusallaştırılan modelle istasyon sayısı açısından en iyi çözümlere ulaşılabilmiştir.

4.1.1. SPMHD problemi şans kısıtlı modeli için doğrusal yaklaşım

Geliştirilen şans kısıtlı modelde Eş. 4.17'e dayanarak Eş. 4.13'ü, Eş. 4.18'e dönüştürmek ve modelde kullanmak yanlış olmayacaktır.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \leq \sum_{i=1}^n a_i, \quad a_i \in \Re^+ \quad (4.17)$$

$$\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} * x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} * x_{(h+1)ik} + z_{1-\alpha} \left(\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi} * x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i} * x_{(h+1)ik} \right) \leq C * s_k \quad (4.18)$$

tüm $k = 1, \dots, K_{\max}$ $h = 1, \dots, H-1$ için

Böylece modeldeki doğrusal olmayan eşitlikler doğrusallaştırılmıştır. Modelin son haliyle kısmen büyük problemler için üst sınırlar elde edilecektir. Kullanılan yaklaşım basit bir matematiksel eşitsizliğe dayanmakta ve modele yeni bir değişken veya kısıt eklenmesine gerek duymamaktadır. Eş. 4.18' de sol taraf x_{hik} parantezine alınırsa Eş. 4.19'a ulaşılacaktır.

$$\sum_{i=1}^{n_h} (\mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sigma_{hi}) * x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} (\mu_{(h+1)i} + z_{1-\alpha} \sigma_{(h+1)i}) * x_{(h+1)ik} \leq C * s_k \quad (4.19)$$

tüm $k = 1, \dots, K_{\max}$ $h = 1, \dots, H-1$ için

Eş. 4.19'a dikkatli bakıldığında deterministik durum için verilen modelde ki Eş. 4.3'e benzediği görülecektir. Yeni yaklaşım ile yalnızca katsayılarda bir değişme olmuştur. Bu nedenle yeni modelin deterministik durum için geliştirilen model ile aynı karakteristiklere sahip olacağını söyleyebiliriz.

4.1.2. SPMHD problemi şans kısıtlı modeli için doğrusal dönüşüm

Geliştirilen şans kısıtlı modelin doğrusal olmamasının sebebi Eş. 4.8'deki, görev

değişkeni eklenmiş haliyle, $\sqrt{\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik}}$ terimidir. Bu nedenle bu

terimde kökün kaldırılması ile doğrusallaştırma mümkün olacaktır. Bunun için Eş. 4.8'in her iki tarafının karesi alınarak Eş. 4.20 elde edilmiştir.

$$(z_{1-\alpha})^2 \leq \frac{(Cs_k - (\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik}))^2}{(\sqrt{\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik}})^2} \quad (4.20)$$

Eş. 4.20 ile, $\sqrt{\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik}}$ teriminden kaynaklanan doğrusal olmayan

durum kaldırılırken, $(Cs_k - (\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik}))^2$ terimiyle yeni bir

doğrusal olmayan durum karşımıza çıkmıştır. Terimin açılmış hali Eş. 4.21'de verilmiştir.

Aynı bağıntılar, diğer doğrusal olmayan ilişkiler için de uygulandığında şu değişken dönüşümleri ortaya çıkmaktadır.

$$t_{hin_k} = x_{hik} * x_{(h+1)n_k} \quad (4.25)$$

$$x_{hik} + x_{(h+1)n_k} - t_{hin_k} \leq 1 \quad (4.26)$$

$$x_{hik} + x_{(h+1)n_k} - 2t_{hin_k} \geq 0 \quad (4.27)$$

$$w_{hik} = x_{hik} * s_k \quad (4.28)$$

$$x_{hik} + s_k - w_{hik} \leq 1 \quad (4.29)$$

$$x_{hik} + s_k - 2w_{hik} \geq 0 \quad (4.30)$$

Eş. 4.20’de dikkat edilmesi gereken bir diğer durum da eşitsizliğin, payın iki durumu için geçerli olmasıdır. Bunlar Eş. 4.31 ve 4.32 de verilmiştir.

$$z_{1-\alpha} \leq \frac{Cs_k - (\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik}}} \quad (4.31)$$

$$-z_{1-\alpha} \geq \frac{Cs_k - (\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik}}} \quad (4.32)$$

Eş. 4.32, Eş. 4.20’nin $1-(1-\alpha)$ olasılığında da geçerli olmasına izin vermektedir. Bu nedenle Eş. 4.33, Eş. 4.20’yle birlikte kullanılarak bu durum ortadan kaldırılmış

olacaktır. Aynı zamanda bu kısıt temel deterministik modelde yer alan çevrim zamanı kısıtıyla aynıdır.

$$Cs_k - \left(\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik} \right) \geq 0 \quad (4.33)$$

Bu tez çalışmasında önerilen ve yeni kısıtlar ile doğrusallaştırılmış olan SPMHD modeli Eş. 4.34 – 4.39 ile ifade edilmektedir.

$$\text{En küçük} \quad \sum_{k=\lceil K_{\min} \rceil}^{K_{\max}} s_k \quad (4.34)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K_{\max}} x_{hik} = 1 \quad \text{tüm } i = 1, \dots, n_h \quad h = 1, \dots, H \text{ için} \quad (4.35)$$

$$\begin{aligned} & C^2 s_k^2 - 2C \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} w_{hik} - 2C \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} w_{(h+1)ik} + 2 \sum_{i=1}^{n_h-1} \sum_{v=i+1}^{n_h} \mu_{hi} \mu_{hv} b_{hivk} + \\ & 2 \sum_{i=1}^{n_{h+1}-1} \sum_{v=i+1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} \mu_{(h+1)v} b_{(h+1)ivk} + \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik} + \\ & 2 \sum_{i=1}^{n_{h+1}-1} \sum_{v=i+1}^{n_h} \mu_{hi} \mu_{(h+1)v} t_{hivk} - z_{1-\alpha}^2 \left(\sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik} \right) \geq 0 \\ & \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max} \quad h = 1, \dots, H - 1 \text{ için,} \end{aligned} \quad (4.36)$$

$$Cs_k - \left(\sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i=1}^{n_{h+1}} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik} \right) \geq 0 \quad , \quad \text{tüm } i = 1, \dots, K_{\max} \text{ için,} \quad (4.37)$$

$$\begin{aligned} & x_{hik} + x_{hvk} - b_{hivk} \leq 1 \\ & \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max} \quad , \quad i = 1, \dots, n_h - 1, \quad v = 1 \dots n_h, \quad h = 1 \dots H \text{ için,} \end{aligned} \quad (4.38)$$

$$\begin{aligned} & x_{hik} + x_{hvk} - 2b_{hivk} \geq 0 \\ & \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max} \quad , \quad i = 1, \dots, n_h - 1, \quad v = 1 \dots n_h, \quad h = 1 \dots H \text{ için,} \end{aligned} \quad (4.39)$$

$$\begin{aligned} & x_{hik} + x_{(h+1)vk} - t_{hivk} \leq 1 \\ & \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max} \quad , \quad i = 1, \dots, n_h - 1, \quad v = 1 \dots n_h, \quad h = 1 \dots H - 1 \text{ için,} \end{aligned} \quad (4.40)$$

$$x_{hik} + x_{(h+1)vk} - 2t_{hivk} \geq 0$$

tüm $k = 1, \dots, K_{\max}$, $i = 1, \dots, n_h - 1$, $v = 1, \dots, n_h$, $h = 1, \dots, H - 1$ için, (4.41)

$$x_{hik} + s_k - w_{hik} \leq 1$$

tüm $k = 1, \dots, K_{\max}$, $i = 1, \dots, n_h - 1$, $h = 1, \dots, H$ için, (4.42)

$$x_{hik} + s_k - 2w_{hik} \geq 0 \quad \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max}, \quad i = 1, \dots, n_h - 1, \quad h = 1, \dots, H \text{ için,} \quad (4.43)$$

$$\sum_{i=1}^{n_h} x_{hik} - \|M_{hk}\| U_{hk} \leq 0 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \quad (4.44)$$

$$U_{hk} + U_{(h+a)k} = 1 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H - 2 \quad a = 2, \dots, H - h \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \quad (4.45)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{\max}} (K_{\max} - k + 1)(x_{hrk} - x_{hsk}) \geq 0 \quad \text{tüm } \forall (r, s) \in P_h \text{ için} \quad (4.46)$$

$$x_{hik}, s_k, U_{hk}, b_{hivk}, t_{hivk}, w_{hik} \in \{0, 1\} \quad \text{tüm } h, i, v, k, \text{ için}$$

Yeni modelde temel deterministik modelde yer alan çevrim zamanı, atama ve öncüllük kısıtları aynı şekilde yer almaktadır. Yeni modelde farklı olarak yer alan kısıt Eş. 4.36 ve bu eşitsizlikle birlikte yer alması gereken Eş. 4.37 -4.43'tür.

4.1.1. ve 4.1.2. bölümlerinde çıkarımları verilen matematiksel modeller Paralel MH için Ağpak ve Gökçen [59] çalışmasından elde edilen bilgiler doğrultusunda oluşturulmuştur.

4.2. Stokastik Paralel MHD Problemi için Teorik En küçük İstasyon Sayısı

Bölüm 4.1.1. ve 4.1.2'de Stokastik Paralel MHD (SPMHD) problemi için farklı yapısal dönüşümlere sahip şans kısıtlı programlama modelleri sunulmuştur. Modellerdeki değişken sayısının azaltılması, sınırlı çözüm sürelerinde karşılaştırılabilme ve ileride geliştirilecek olan sezgisel yöntemlerin etkinliğinin analizi gibi nedenlerden dolayı, deterministik MHD (DMHD) dengeleme problemleri için bulunan teorik en küçük istasyon sayısı, stokastik durumda da Paralel MHD problemlerinin çözümünün performansının artırılması için bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla çalışmada, stokastik durum için teorik en küçük istasyon sayısı

tanımlanmıştır. Ayrıca aynı tanıma dayanarak geleneksel DTMHD problemi 0-1 tamsayılı programlama modelinde kullanılan E_i , i görevinin yapılabileceği en erken istasyon, L_i , i görevinin yapılabileceği en geç istasyon, kavramları da geleneksel STMHD problemi şans kısıtlı programlama modeli için Ağpak ve Gökçen [59] tarafından tanımlanan yapıya uygun bir şekilde PMHDP'ye uyarlanmıştır. Bölüm 4.1'de yapılan çıkarım sonucu istasyonların alabileceği iş yükü için Eş. 4.9'a ulaşılmıştır. Söz konusu eşitsizlik burada da kullanılmış ancak eşitliğin çıkarımı tekrar yapılmamıştır.

Tanım 1: Görev zamanı t_i , $t_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ iken n görevden oluşan bir montaj hattında çevrim zamanı C , izin verilen istasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığı üst sınırı α ise teorik en küçük istasyon sayısı K_{min} , Eş. 4.47'deki gibi hesaplanır.

$$K_{min} = \left\lceil \frac{\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2}}{C} \right\rceil^+ \quad (4.47)$$

K^* en iyi istasyon sayısı olarak kabul edildiğinde; her bir istasyon için istasyon zamanı

$$St_k = \sum_{hi \in k} t_{hi} + \sum_{(h+1)i \in k} t_{(h+1)i} \quad \text{ise}$$

$$St_k \sim N \left(\mu_k = \sum_{i \in k} \mu_{hi} + \sum_{i \in k} \mu_{(h+1)i}, \sigma_k^2 = \sum_{hi \in k} \sigma_{hi}^2 + \sum_{(h+1)i \in k} \sigma_{(h+1)i}^2 \right), \text{dır.}$$

$\mu_k + z_{1-\alpha} \sqrt{\sigma_k^2} \leq C$ olduğu bilinmektedir (bkz. Bölüm 4.1). Tüm istasyonlar için geçerli olan eşitsizlik K^* istasyon için alt alta toplanırsa Eş. 4.48'e ulaşılır.

$$\sum_h^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + \sum_{k=1}^{K^*} (z_{1-\alpha} \sqrt{\sigma_k^2}) \leq K^* . C \Rightarrow \sum_h^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sum_{k=1}^{K^*} \sigma_k \leq K^* . C \quad (4.48)$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \leq \sum_{i=1}^n a_i, \quad a_i \in \mathfrak{R}^+ \Rightarrow \sqrt{\sum_{k=1}^{K^*} \sigma_k^2} \leq \sum_{k=1}^{K^*} \sigma_k \quad \text{bilgilerine dayanarak Eş. 4.48, Eş.}$$

4.49 şeklinde yazılabilir.

$$\sum_h^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{k=1}^{K^*} \sigma_k^2} \leq \sum_h^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sum_{k=1}^{K^*} \sigma_k \leq K^* . C \quad (4.49)$$

$\sigma_k^2 = \sum_{i \in k} \sigma_i^2$ olduğu bilinmektedir. Bu durumda Eş. 4.49, Eş. 4.50 ve sadeleştirmeler ile Eş. 4.51 yazılabilir.

$$\sum_h^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{k=1}^{K^*} \sum_{h=1}^H \sum_{hi \in k} \sigma_{hi}^2} \leq \sum_h^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sum_{k=1}^{K^*} \sigma_k \leq K^* . C \quad (4.50)$$

$$\sum_h^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \leq \sum_{i=1}^n \mu_i + z_{1-\alpha} \sum_{k=1}^{K^*} \sigma_k \leq K^* . C \quad (4.51)$$

Son olarak Eş. 4.51'e dayanarak Eş. 4.52 yazılabilir.

$$K_{\min} = \left\lceil \frac{\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^{n_h} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^{n_h} \sigma_{hi}^2}}{C} \right\rceil^+ \leq K^* \quad (4.52)$$

Tanım 2: i görevinin, çevrim zamanı C , izin verilen istasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığı üst sınırı α iken yapılabileceği en erken istasyon E_i , Eş. 4.53'de olduğu gibi hesaplanır.

$$E_{hi} = \left\lceil \frac{\mu_{hi} + \sum_{hi \in P_{hi}} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sigma_{hi}^2 + \sum_{hi \in P_{hi}} \sigma_{hi}^2}}{C} \right\rceil^+ \quad (4.53)$$

i görevi ve öncüllerinden oluşan bir montaj sistemi için bulunabilecek teorik en küçük istasyon sayısı i görevinin yapılabilceği en erken istasyon sayısıdır. Bu nedenle i görevi ve öncülleri dikkate alınarak hesaplanan teorik en küçük istasyon sayısı E_i değeri olarak kullanılabilir.

Tanım 3: i görevinin, çevrim zamanı C , izin verilen istasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığı üst sınırı α , izin verilen maksimum istasyon sayısı K_{max} iken yapılabilceği en geç istasyon L_i , Eşitlik 4.47 deki gibi hesaplanır.

$$L_{hi} = K_{max} + 1 - \left\lceil \frac{\mu_{hi} + \sum_{hi \in Sh_i} \mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sqrt{\sigma_{hi}^2 + \sum_{hi \in Sh_i} \sigma_{hi}^2}}{C} \right\rceil \quad (4.54)$$

h_i görevi ve ardıllarından oluşan bir montaj sistemi için bulunabilecek teorik en küçük istasyon sayısı i görevinin yapılabilceği en erken istasyon sayısıdır. Söz konusu değerin ' $K_{max}+1$ ' değerinden farkı ise i görevinin atanabileceği en geç istasyonu vermektedir. Bu nedenle i görevi ve öncülleri dikkate alınarak hesaplanan teorik en küçük istasyon sayısının, izin verilen maksimum istasyon sayısının bir fazlasından farkı L_{hi} değeri olarak kullanılabilir.

En erken istasyon sayısı bulmak için $\max_h \{E_{hi}\}$ ve en geç istasyon sayısını ise $\min_h \{L_{hi}\}$ şeklinde bulmak mümkün olacaktır. [73]

Paralel hatlar için geliştirilen E_i ve L_i tanımları kullanılarak oluşturulan yeni DYM ve DDM modelleri aşağıda sunulmuştur.

DYM Modeli

$$\text{En küçük } \sum_{k=\lceil K_{\min} \rceil}^{K_{\max}} s_k \quad (4.55)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{E_{hi}}^{L_{hi}} x_{hik} = 1 \quad \text{tüm } i = 1, \dots, n_h \quad h = 1, \dots, H \text{ için} \quad (4.56)$$

$$\sum_{E_{hi}}^{L_{hi}} (\mu_{hi} + z_{1-\alpha} \sigma_{hi}) x_{hik} + \sum_{E_{(h+1)i}}^{L_{(h+1)i}} (\mu_{(h+1)i} + z_{1-\alpha} \sigma_{(h+1)i}) x_{(h+1)ik} \leq C s_k \quad (4.57)$$

tüm $k = 1, \dots, K_{\max} \quad h = 1, \dots, H - 1$ için

$$\sum_{i=1}^{n_h} x_{hik} - \|M_{hk}\| U_{hk} \leq 0 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \quad (4.58)$$

$$U_{hk} + U_{(h+a)k} = 1 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H - 2 \quad a = 2, \dots, H - h \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \quad (4.59)$$

$$\sum_{k=E_{hr}}^{L_{hr,s}} (K_{\max} - k + 1) x_{hrk} - \sum_{k=E_{hs}}^{L_{hs}} (K_{\max} - k + 1) x_{hsk} \geq 0 \quad \text{tüm } \forall (r, s) \in P_h \text{ için} \quad (4.60)$$

$$x_{hik}, s_k, U_{hk} \in \{0, 1\} \quad \text{tüm } h, i, k, \text{ için}$$

DDM modeli:

$$\text{En küçük } \sum_{k=\lceil K_{\min} \rceil}^{K_{\max}} s_k \quad (4.61)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K_{\max}} x_{hik} = 1 \quad \text{tüm } i = 1, \dots, n_h \quad h = 1, \dots, H \text{ için} \quad (4.62)$$

$$\begin{aligned}
& C^2 s_k^2 - 2C \sum_{i \in W_k} \mu_{hi} w_{hik} - 2C \sum_{i \in W_k} \mu_{(h+1)i} w_{(h+1)ik} + 2 \sum_{i \in W_k} \sum_{v \in W_j \wedge v > i} \mu_{hi} \mu_{hv} b_{hivk} \\
& + 2 \sum_{i \in W_k} \sum_{v \in W_j \wedge v > i} \mu_{(h+1)i} \mu_{(h+1)v} b_{(h+1)ivk} + \sum_{i \in W_k} \mu_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i \in W_k} \mu_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik} \\
& + 2 \sum_{i \in W_k} \sum_{v \in W_j \wedge v > i} \mu_{hi} \mu_{(h+1)v} t_{hivk} - z_{1-\alpha}^2 \left(\sum_{i \in W_k} \sigma_{hi}^2 x_{hik} + \sum_{i \in W_k} \sigma_{(h+1)i}^2 x_{(h+1)ik} \right) \geq 0 \\
& \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max} \quad h = 1, \dots, H-1 \text{ için,} \tag{4.63}
\end{aligned}$$

$$C s_k - \left(\sum_{i \in W_k} \mu_{hi} x_{hik} + \sum_{i \in W_k} \mu_{(h+1)i} x_{(h+1)ik} \right) \geq 0, \quad \text{tüm } i = 1, \dots, K_{\max} \quad h = 1 \dots H-1 \text{ için,} \tag{4.64}$$

$$\begin{aligned}
& x_{hik} + x_{hvk} - b_{hivk} \leq 1 \\
& \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max}, \quad i = E_{hi} \dots, L_{hi}, \quad v = E_{hv} \dots, L_{hv} \quad i \neq v, \quad h = 1 \dots H \text{ için,} \tag{4.65}
\end{aligned}$$

$$x_{hik} + x_{hvk} - 2b_{hivk} \geq 0 \quad \text{“} \quad \text{“} \tag{4.66}$$

$$\begin{aligned}
& x_{hik} + x_{(h+1)vk} - t_{hivk} \leq 1 \\
& \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max}, \quad i = E_{hi} \dots, L_{hi}, \quad v = E_{hv} \dots, L_{hv} \quad i \neq v, \quad h = 1 \dots H \text{ için,} \tag{4.67}
\end{aligned}$$

$$x_{hik} + x_{(h+1)vk} - 2t_{hivk} \geq 0 \quad \text{“} \quad \text{“} \tag{4.68}$$

$$x_{hik} + s_k - w_{hik} \leq 1 \quad \text{tüm } k = 1, \dots, K_{\max}, \quad i = E_{hi} \dots, L_{hi}, \quad h = 1 \dots H \text{ için,} \tag{4.69}$$

$$x_{hik} + s_k - 2w_{hik} \geq 0 \tag{4.70}$$

$$\sum_{i=1}^{n_h} x_{hik} - \|M_{hk}\| U_{hk} \leq 0 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \tag{4.71}$$

$$U_{hk} + U_{(h+a)k} = 1 \quad \text{tüm } h = 1, \dots, H-2 \quad a = 2, \dots, H-h \quad k = 1, \dots, K_{\max} \text{ için} \tag{4.72}$$

$$\sum_{k=E_{hr}}^{L_{hrx}} (K_{\max} - k + 1) x_{hrk} - \sum_{k=E_{hs}}^{L_{hs}} (K_{\max} - k + 1) x_{hsk} \geq 0 \quad \text{tüm } \forall (r, s) \in P_h \text{ için} \tag{4.73}$$

$$x_{hik}, s_k, U_{hk}, b_{hivk}, t_{hivk}, w_{hik} \in \{0, 1\} \quad \text{tüm } h, i, v, k, \text{ için}$$

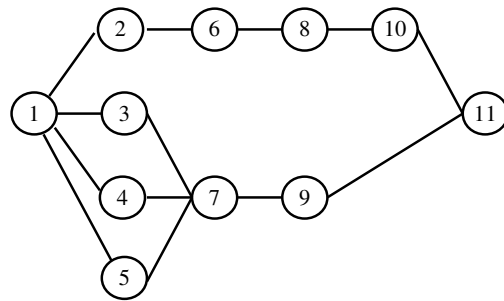
Modellerdeki W_k , k istasyonuna atanabilir görevler kümesini ifade etmektedir.

4.3. Örnek Problem

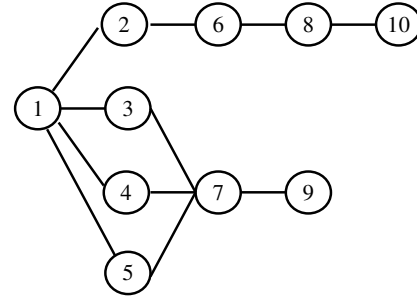
Uygulamanın anlaşılabilmesi için literatürde kullanılan test problemlerinden Jackson problemi ele alınmıştır. Bu test problemlerinin Paralel hat tipine dönüştürülmesi Gökçen ve ark. [4] çalışmasında yapılmıştır.

Çizelge 4. 1. Jackson probleminin Paralel hat dengeleme problemi için görev zamanları

HAT I			HAT II		
Görev No	Görev Zamanı	Standart Sapma	Görev No	Görev Zamanı	Standart Sapma
1	6	0.05	1	6	0.04
2	2	0.04	2	2	0.02
3	5	0.03	3	5	0.03
4	7	0.03	4	7	0.01
5	1	0.05	5	1	0.03
6	2	0.04	6	2	0.02
7	3	0.07	7	3	0.07
8	6	0.1	8	6	0.06
9	5	0.08	9	5	0.05
10	5	0.02	10	5	0.04
11	4	0.05	-		



Hat I

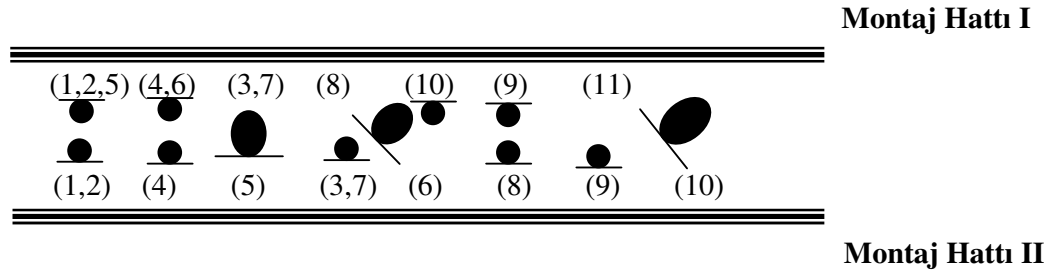


Hat II

Şekil 4. 1. Jackson probleminin Paralel hat dengeleme problemi için düzenlenmiş hali [4]

Burada standart sapma değişkenleri rassal olarak alınmıştır. Çevrim zamanı 10 br. alınmış ve $\alpha=0.05$ olmak üzere $z_{1-\alpha}=1.645$ olarak alınmıştır.

Buna göre sonuçta oluşan atamalar şu şekildedir:



Şekil 4. 2. Stokastik görev zamanlı 11+10 görevli Jackson problemi $C=10$, $\alpha=0,05$ için alternatif atama seçeneklerinden biri

Çözümde 12 adet istasyon bulunmuştur. Bu çözüm her iki yöntemden de elde edilmiştir. Buradan da anlaşılabileceği gibi DYM modeli ile yaklaşık değer elde edilmesine rağmen küçük problem boyutunda DDM ile elde edilen en iyi sonuçları elde edebildiğimizi görmekteyiz. Şekil 4.2’de alternatif sonuçlardan bir tanesi gösterilmiştir.

Deterministik çözüm sonuçlarına baktığımızda bu problem için 9 istasyonlu bir sonuç elde edilmiştir. Fakat 0,95 güven katsayısı ile problemin esnekliğinden dolayı bu istasyon sayısı artmıştır.

4.4. SPMHD Şans Kısıtlı 0-1 Tamsayılı Programlama Modellerinin Değişken Sayısına Göre Karşılaştırılması

Bölüm içerisinde SPMHD için öncelikle görevlerin atanabileceği istasyonların sınırlandırılmadığı durum için DYM ve DDM ve en erken atanabilir istasyon numarası, en son atanabilir istasyon numarası, ve teorik en küçük istasyon sayısı ile değişken sayısı küçültülmüş DYM (S_DYM) ve küçültülmüş DDM (S_DDM) olmak üzere 4 değişik model ele alınmıştır. Bu modellerden iki hatlı durum için DDM ve DYM için Çizelge 4.2’de verilen değişken ve kısıt sayıları görülmektedir.

Çizelge 4. 2. SPMHD problemi için değişken ve kısıt sayıları

Parametre	DYM	DDM
Değişken Sayısı	$K_{\max} (\sum n_h + 1 + h)$	$K_{\max} (\sum_{\forall h} [2n_h + n_h (n_{h+1} + 1) + 2])$
Kısıt Sayısı	$\sum n_h + 3K_{\max} + \sum r_h$	$K_{\max} (2(n_{h+1}(n_h - 1)) + n_h + n_{h+1} + 2) + \sum n_h + \sum r_h$

Çizelgede görüldüğü gibi en büyük istasyon sayısı ($K_{\max}$) modeller üzerinde çok büyük bir etkiye sahiptir.

Çizelge 4.3’de modellerin örnek test problemleri üzerinde değişken sayısı karşılaştırmaları yapılmıştır. Tabloda test problemi isimleri verilirken; sırasıyla “problem ismi_çevrim zamanı_tamamlanma olasılığı_varyans tipi” şeklinde bir isimlendirme oluşturulmuştur. Problem ismi literatürde tanımlanmış test problemlerinden alınan problemin ismidir. Çevrim zamanları her bir problem için tanımlanmış çevrim zamanlarıdır. Matematiksel modellerin oluşturulmasında üç farklı tamamlanma olasılığı seviyesi alınmıştır. Bunlar düşük (d) 0,85, orta (o) 0,90 ve yüksek (y) 0,95 olasılık seviyeleridir. Varyans tipini tanımlayan son kısım ise; d, düşük; y, yüksek; r, rassal varyans tiplerini ifade etmektedir. Varyans tipleri test problemlerinin oluşturulması sırasında belirlenmiştir.¹ Modellerin karşılaştırılması, 4 farklı test problemi, her bir test problemi belirlenmiş farklı çevrim zamanları, 3 farklı varyans tipi, 3 farklı tamamlanma olasılığı için yapılmıştır.

¹ Test problemlerini oluşturulması ile detaylı bilgi Ek-1’de verilmektedir.

Çizelge 4. 3. Değişken Sayısı ve Kısıt Sayısı tabloları

	Teorik Min. İst.	DYM		DDM	
		Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı
Merten_C12_85_d.txt	7+6	5	183	38	925
Merten_C12_85_r.txt		5	183	38	925
Merten_C12_85_y.txt		5	183	38	925
Merten_C12_90_d.txt		5	183	38	925
Merten_C12_90_r.txt		5	183	38	925
Merten_C12_90_y.txt		5	183	38	925
Merten_C12_95_d.txt		5	183	38	1079
Merten_C12_95_r.txt		5	183	38	1079
Merten_C12_95_y.txt		5	183	38	1079
Merten_C14_85_d.txt		5	183	38	771
Merten_C14_85_r.txt		5	183	38	771
Merten_C14_85_y.txt		5	183	38	771
Merten_C14_90_d.txt		5	183	38	771
Merten_C14_90_r.txt		5	183	38	771
Merten_C14_90_y.txt		5	183	38	771
Merten_C14_95_d.txt		5	183	38	925
Merten_C14_95_r.txt		5	183	38	925
Merten_C14_95_y.txt		5	183	38	925
Merten_C16_85_d.txt		4	183	38	771
Merten_C16_85_r.txt		4	183	38	771
Merten_C16_85_y.txt		4	183	38	771
Merten_C16_90_d.txt		4	183	38	771
Merten_C16_90_r.txt		4	183	38	771
Merten_C16_90_y.txt		4	183	38	771
Merten_C16_95_d.txt		4	183	38	771
Merten_C16_95_r.txt		4	183	38	771
Merten_C16_95_y.txt		4	183	38	771
Merten_C20_85_d.txt		3	183	38	617
Merten_C20_85_r.txt		3	183	38	617
Merten_C20_85_y.txt		3	183	38	617
Merten_C20_90_d.txt		3	183	38	617
Merten_C20_90_r.txt		3	183	38	617
Merten_C20_90_y.txt		3	183	38	617
Merten_C20_95_d.txt		3	183	38	617
Merten_C20_95_r.txt		3	183	38	617
Merten_C20_95_y.txt		3	183	38	617

Çizelge 4.3. (Devam) Değişken Sayısı ve Kısıt Sayısı tabloları

			DYM		DDM	
		Teorik Min. İst. Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı
Jaeschke_C11_85_d.txt	9+8	7	307	54	2017	3797
Jaeschke_C11_85_r.txt		7	307	54	2017	3797
Jaeschke_C11_85_y.txt		7	307	54	2017	3797
Jaeschke_C11_90_d.txt		7	307	54	2017	3797
Jaeschke_C11_90_r.txt		7	307	54	2017	3797
Jaeschke_C11_90_y.txt		7	307	54	2017	3797
Jaeschke_C11_95_d.txt		7	307	54	2269	4267
Jaeschke_C11_95_r.txt		7	307	54	2269	4267
Jaeschke_C11_95_y.txt		7	307	54	2269	4267
Jaeschke_C13_85_d.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C13_85_r.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C13_85_y.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C13_90_d.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C13_90_r.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C13_90_y.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C13_95_d.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C13_95_r.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C13_95_y.txt		6	307	54	1765	3327
Jaeschke_C15_85_d.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C15_85_r.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C15_85_y.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C15_90_d.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C15_90_r.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C15_90_y.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C15_95_d.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C15_95_r.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C15_95_y.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C17_85_d.txt		5	307	54	1261	2387
Jaeschke_C17_85_r.txt		5	307	54	1261	2387
Jaeschke_C17_85_y.txt		5	307	54	1261	2387
Jaeschke_C17_90_d.txt		5	307	54	1261	2387
Jaeschke_C17_90_r.txt		5	307	54	1261	2387
Jaeschke_C17_90_y.txt		5	307	54	1261	2387
Jaeschke_C17_95_d.txt		5	307	54	1513	2857

Çizelge 4.3. (Devam) Değişken Sayısı ve Kısıt Sayısı tabloları

		Teorik Min. İst.	DYM		DDM	
			Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı
Jaeschke_C17_95_r.txt	9+8	5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C17_95_y.txt		5	307	54	1513	2857
Jaeschke_C19_85_d.txt		4	307	54	1261	2387
Jaeschke_C19_85_r.txt		4	307	54	1261	2387
Jaeschke_C19_85_y.txt		4	307	54	1261	2387
Jaeschke_C19_90_d.txt		4	307	54	1261	2387
Jaeschke_C19_90_r.txt		4	307	54	1261	2387
Jaeschke_C19_90_y.txt		4	307	54	1261	2387
Jaeschke_C19_95_d.txt		4	307	54	1261	2387
Jaeschke_C19_95_r.txt		4	307	54	1261	2387
Jaeschke_C19_95_y.txt		4	307	54	1261	2387

Ele alınan test problemlerinden sadece ikisine ait değişken ve kısıt sayıları verilmiş, diğerlerine ait bilgiler ise Ek-2’de çizelge olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 ve Ek-2 incelendiğinde DDM’lerin DYM’lere göre çok daha fazla değişken ve kısıta sahip oldukları gözlenmiştir. Çizelge 4.2’de verilen formülasyonlarla hesaplanan değişken ve kısıt sayıları Çizelge 4.3 ve Ek-2’de elde edilenlerle aynı olmamaktadır. Bunun nedeni ise Bölüm 2 içerisinde tanımlanmış olan görevlerin istasyonlara en erken ve en geç atanabileceği alt ve üst limitlerin kullanılmış olmasıdır. Bu alt ve üst limitlerin kullanımı sayesinde değişken sayıları yaklaşık ortalama olarak %60 oranında; kısıt sayıları ise yaklaşık olarak ortalama % 50 oranında azaltılmıştır. Değişken sayılarının ve kısıt sayılarının azaltılabilmesi çözüm bulunabilecek problem boyutlarının genişletilmesini ve 0-1 tamsayılı programlama modelinin en iyi sonuçlarının daha kolay elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır.

4.5. Test Problemi Sonuç ve Değerlendirilmesi

Değişken ve kısıt sayıları verilen test problemleri çözüldüğünde Çizelge 4.4 ve Ek-3 içerisindeki çözümlere ulaşılmıştır. Bu çözümlerin yapılabilmesi amacıyla GAMS CPLEX çözücüsü kullanılmıştır. Problemin NP-zor yapısı ve literatürdeki problemlerin paralelleştirilmesinden dolayı hat sayısının birden fazla olması nedeniyle problemlerin çözümü çok uzun süreler gerektirmektedir. Bu sebeple çalışma süresi 72000 saniye olarak sınırlanmıştır. Sınırlandırılmış bu süre içerisinde DDM’de en yüksek (11+10) Jackson problemine, DYM’de ise (30+28) Sawyer problemine çözüm bulunabilmiştir. Tüm modeller ile her bir test probleminin 3 farklı çevrim zamanı, 3 farklı tamamlanma seviyesi ve 3 farklı varyans tipi (düşük (d), yüksek (y), r (rassal)) için çözüm yapılmıştır. Tamamlanma olasılık seviyeleri 0,95 yüksek (y), 0,90 orta (o) ve 0,85 düşük (d) olarak alınmıştır.

Çizelge 4. 4. Şans kısıtlı Matematiksel Model Test Sonuçları

	Kmin	DYM			DDM		
		Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre	Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre
Merten_C12_85_d.txt	5	6	211	0.09	6	40803	9.13
Merten_C12_85_r.txt	5	6	211	0.08	6	40803	9.13
Merten_C12_85_y.txt	5	6	211	0.08	6	40803	9.27
Merten_C12_90_d.txt	5	6	2173	0.19	6	35244	9.52
Merten_C12_90_r.txt	5	6	2173	0.16	6	35244	9.42
Merten_C12_90_y.txt	5	6	2173	0.17	6	35244	9.06
Merten_C12_95_d.txt	5	7	5574	0.31	6	67348	20.95
Merten_C12_95_r.txt	5	7	5574	0.31	6	67348	21.17
Merten_C12_95_y.txt	5	7	5574	0.31	6	67348	21.69
Merten_C14_85_d.txt	5	5	72	0.06	5	13	0.09
Merten_C14_85_r.txt	5	5	72	0.05	5	13	0.11
Merten_C14_85_y.txt	5	5	72	0.05	5	13	0.11
Merten_C14_90_d.txt	5	5	144	0.06	5	69	0.11
Merten_C14_90_r.txt	5	5	144	0.08	5	69	0.16
Merten_C14_90_y.txt	5	5	144	0.05	5	69	0.13
Merten_C14_95_d.txt	5	6	1250	0.14	5	213	0.2
Merten_C14_95_r.txt	5	6	1250	0.13	5	213	0.2
Merten_C14_95_y.txt	5	6	1250	0.13	5	213	0.17
Merten_C16_85_d.txt	4	5	1416	0.13	4	107	0.13
Merten_C16_85_r.txt	4	5	1416	0.14	4	107	0.16
Merten_C16_85_y.txt	4	5	1416	0.14	4	107	0.14
Merten_C16_90_d.txt	4	5	288	0.06	4	2037	2.23
Merten_C16_90_r.txt	4	5	288	0.06	4	2037	2.36
Merten_C16_90_y.txt	4	5	288	0.08	4	2037	2.3
Merten_C16_95_d.txt	4	5	127	0.06	5	140123	24.19
Merten_C16_95_r.txt	4	5	127	0.08	5	140123	24.28
Merten_C16_95_y.txt	4	5	127	0.08	5	140123	23.61
Merten_C20_85_d.txt	3	4	233	0.06	3	2828	1.34
Merten_C20_85_r.txt	3	4	233	0.06	3	2828	1.25
Merten_C20_85_y.txt	3	4	233	0.05	3	2828	1.28
Merten_C20_90_d.txt	3	4	124	0.06	3	4050	1.56
Merten_C20_90_r.txt	3	4	124	0.08	3	4050	1.58
Merten_C20_90_y.txt	3	4	124	0.05	3	4050	1.61
Merten_C20_95_d.txt	3	4	150	0.08	4	30145	5.05
Merten_C20_95_r.txt	3	4	150	0.08	4	30145	5
Merten_C20_95_y.txt	3	4	150	0.06	4	30145	4.92

(7+6)

Çizelge 4.4. (Devam) Şans kısıtlı Matematiksel Model Test Sonuçları

		Kmin	DYM			DDM		
			Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre	Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre
Jaeschke C11 85 d.txt		7	8	837	0.19	8	149556	88.69
Jaeschke C11 85 r.txt		7	8	837	0.17	8	149556	90.48
Jaeschke C11 85 y.txt		7	8	837	0.17	8	149556	90.2
Jaeschke C11 90 d.txt		7	8	1005	0.28	8	70696	36.22
Jaeschke C11 90 r.txt		7	8	1005	0.3	8	70696	36.02
Jaeschke C11 90 y.txt		7	8	1005	0.23	8	70696	36.14
Jaeschke C11 95 d.txt		7	9	38246	2.56	8	67558	33.98
Jaeschke C11 95 r.txt		7	9	38246	2.58	8	67558	33.98
Jaeschke C11 95 y.txt		7	9	38246	2.58	8	67558	34.05
Jaeschke C13 85 d.txt		6	7	2376	0.22	7	222226	93.55
Jaeschke C13 85 r.txt		6	7	2376	0.23	7	222226	93.55
Jaeschke C13 85 y.txt		6	7	2376	0.23	7	222226	93.45
Jaeschke C13 90 d.txt		6	7	1834	0.3	7	198555	83.02
Jaeschke C13 90 r.txt		6	7	1834	0.28	7	198555	82.98
Jaeschke C13 90 y.txt		6	7	1834	0.3	7	198555	82.53
Jaeschke C13 95 d.txt		6	7	8476	0.64	7	262861	113.63
Jaeschke C13 95 r.txt		6	7	8476	0.67	7	262861	113.53
Jaeschke C13 95 y.txt		6	7	8476	0.64	7	262861	113.95
Jaeschke C15 85 d.txt		5	6	417	0.09	6	118139	45.53
Jaeschke C15 85 r.txt		5	6	417	0.14	6	118139	45.53
Jaeschke C15 85 y.txt		5	6	417	0.08	6	118139	45.56
Jaeschke C15 90 d.txt		5	6	470	0.16	6	124138	44.22
Jaeschke C15 90 r.txt		5	6	470	0.13	6	124138	44.19
Jaeschke C15 90 y.txt		5	6	470	0.14	6	124138	44.42
Jaeschke C15 95 d.txt		5	6	32580	1.78	6	86672	35.98
Jaeschke C15 95 r.txt		5	6	32580	1.84	6	86672	35.92
Jaeschke C15 95 y.txt		5	6	32580	1.8	6	86672	36.09
Jaeschke C17 85 d.txt		5	5	222	0.08	5	14	0.11
Jaeschke C17 85 r.txt		5	5	222	0.08	5	14	0.13
Jaeschke C17 85 y.txt		5	5	222	0.08	5	14	0.13
Jaeschke C17 90 d.txt		5	5	414	0.08	5	401	0.38
Jaeschke C17 90 r.txt		5	5	414	0.08	5	401	0.31
Jaeschke C17 90 y.txt		5	5	414	0.08	5	401	0.33
Jaeschke C17 95 d.txt		5	6	4280	0.3	5	6107	4.91

Çizelge 4.4. (Devam) Şans kısıtlı Matematiksel Model Test Sonuçları

	Kmin	DYM			DDM		
		Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre	Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre
Jaeschke_C17_95_r.txt	5	6	4280	0.27	5	6107	4.94
Jaeschke_C17_95_y.txt	5	6	4280	0.25	5	6107	4.91
Jaeschke_C19_85_d.txt	4	5	222	0.06	4	268	0.2
Jaeschke_C19_85_r.txt	4	5	222	0.08	4	268	0.22
Jaeschke_C19_85_y.txt	4	5	222	0.08	4	268	0.23
Jaeschke_C19_90_d.txt	4	5	556	0.11	4	353	0.22
Jaeschke_C19_90_r.txt	4	5	556	0.13	4	353	0.2
Jaeschke_C19_90_y.txt	4	5	556	0.13	4	353	0.2
Jaeschke_C19_95_d.txt	4	5	217	0.06	5	44442	11.86
Jaeschke_C19_95_r.txt	4	5	217	0.08	5	44442	11.86
Jaeschke_C19_95_y.txt	4	5	217	0.08	5	44442	11.89

DDM ve DYM için çözülen diğer test problemlerinin sonuçları Ek-3 içerisindeki çizelgelerde sunulmuştur. Çizelge ve Ek-3 de ‘*’ bulunan değerler 72000 saniyede bulunabilen en iyi sonucu ifade etmektedir. DDM modelleri ile 171, DYM modelleri ile 245 test problemi çözülmüştür. DDM ile 171 problemin 87 sinde en iyi sonuca ulaşılabilmiştir. DYM ile en iyi değeri bilinen 87 problemin 57’sinde en iyi, 30’unda 1 istasyon sapmayla sonuca ulaşılmıştır. DDM modelleri ile 72000 saniye içinde hiç bir sonuç bulunmayan problemlerin 24’ünde DYM ile de bir sonuç elde edilememiştir. DYM modelleri ile çözülen toplam görev sayısı (11+10) görevden büyük 74 test probleminde teorik en küçük istasyon sayısından 1 istasyon fazlasına ulaşılabilmiştir. Bu bakımdan DYM’nin en iyi sonuçları, DDM için en büyük istasyon sayısı olmak üzere bir üst limit olarak kullanılmıştır.

Sonuçlar boyut açısından incelendiğinde DDM’nin (11+10) görevden büyük problemlerde çözüme ulaşmada zorlandığı görülmektedir. DYM ise (30+28) göreve kadar çözüme ulaşmaktadır. Paralel hatlarda küçük boyutlu problemlerde bile görev sayısı en az iki katına çıkmasından dolayı orta ve büyük boyutlu problemlerin en iyi çözümlerinin elde edilmesi oldukça güçleşmiştir.

5. PARALEL STOKASTİK MHD PROBLEMİ İÇİN BİR SEZGİSEL YAKLAŞIM

Önceki bölümde, görev zamanlarının birbirinden bağımsız Normal dağılım altında dağıldığı varsayımı ile Şans Kısıtlı Matematiksel Programlama yönteminin SPMHD problemine uygulanması yapılmış, bu yöntemle ilgili alt sınır değerleri (en küçük istasyon sayısı, en küçük atanabilir istasyon numarası (E_i) ve en son atanabilir istasyon numarası (L_i)) belirlenmiştir. Bu şekilde yapılan çalışmalar Ağpak ve Gökçen'in [54] yapmış oldukları doğrusallaştırma yöntemleri kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. Fakat problemin NP-zor yapısından dolayı problem boyutu büyüdüğünde çözümü zorlaşmaktadır. Bundan dolayı problemi makul zaman içerisinde ve kabul edilebilir şekilde alt limite yaklaştıracak sezgisel yöntemlere ihtiyaç olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle bu bölüm kapsamında ele alınan problem için sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir.

5.1. Sezgisel Prosedür

Klasik düz Stokastik MHD problemi için yapılmış çalışmalar araştırıldığında, görev seçim kriterleri ve atama mantığına dayanan birçok sezgiselin geliştirildiği görülmektedir. Bu sezgisellerin birçoğunda Arcus [74] tarafından geliştirilen COMSOAL sezgiselinin temel alındığı görülmektedir [21, 23, 41]. Bu çalışmada da Arcus [74] tarafından Klasik Düz MHD problemleri için geliştirilen ve uygulamalarında yüksek verimlilik sağlayan COMSOAL sezgisel yöntemi temel alınmış, Paralel hatlar için modüler yapıya sahip bir sezgisel prosedür geliştirilmiştir. Geliştirilen sezgiselin akış şeması Şekil 5.1'de görülmektedir. Geliştirilen sezgisel prosedür ile COMSOAL sezgiselinin benzerliği yalnızca başlangıç ve sonlandırma adımlarında bulunmaktadır. Yeni geliştirilen sezgisel görev seçim kriterleri, atanabilir görev belirleme fonksiyonu, görev atama şekli açısından COMSOAL sezgiselinden ayrılmaktadır.

Geliştirilen sezgisel prosedürün adımları aşağıda verilmiştir:

- i. Başlangıç atamaları ($x=0, h=0, k=0$)
- ii. Yeni denemeye başla; $x=x+1$ ata
- iii. $H-1$ 'e kadar $h=h+1$, ata $k=k+1$ (Yeni istasyon aç)
- iv. Tüm $i \in \{L_h, L_{h+1}\}$ için, $NSc(h(i))=0$ olanlardan A listesi oluştur.
- v. Tüm $i \in A$ için, eğer $P_{k+i} \leq \alpha$, ise i 'yi B listesine ekle. Eğer B boş değil ise, Adım vii'ye git.
- vi. Yeni istasyon aç, Adım iv'e git.
- vii. İstasyona atanacak görevi, seçim kriterine göre belirle, atamayı yap, eğer tüm görevler atanmamış ise Adım iv'e git.
- viii. Eğer bulunan istasyon sayısı bir önceki denemedekinden az ise en iyi olan atamaları güncelle. Eğer $x=X$ ise, durdur diğer durumda ii. adıma git.

Tanımlamalar:

L_h	: Hat h 'daki tüm atanmamış görevler listesi
h	: Hat sayısı, $h=1, \dots, H$
k	: İstasyon sayısı, $k=1, \dots, K$
X	: Limit deneme sayısı
x	: Deneme sayısı
i	: Görev numarası
$Sc(h(i))$	: h hattındaki i görevinin öncelik diyagramındaki öncelik ilişkilerinin kümesi
$NSc(h(i))$	: h hattındaki i görevinin öncelik diyagramındaki öncelik sayısı
A	: $NSc(h(i))=0$ olan yani öncülü bulunmayan görevler kümesi
B	: Olasılık şartını sağlayan görevler listesi
α	: İstasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığı üst sınırı
P_{k+i}	: k istasyonuna i görevi eklendiğinde istasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığı
μ_i	: i görevinin ortalama zamanı

σ_i : i görev zamanı standart sapması

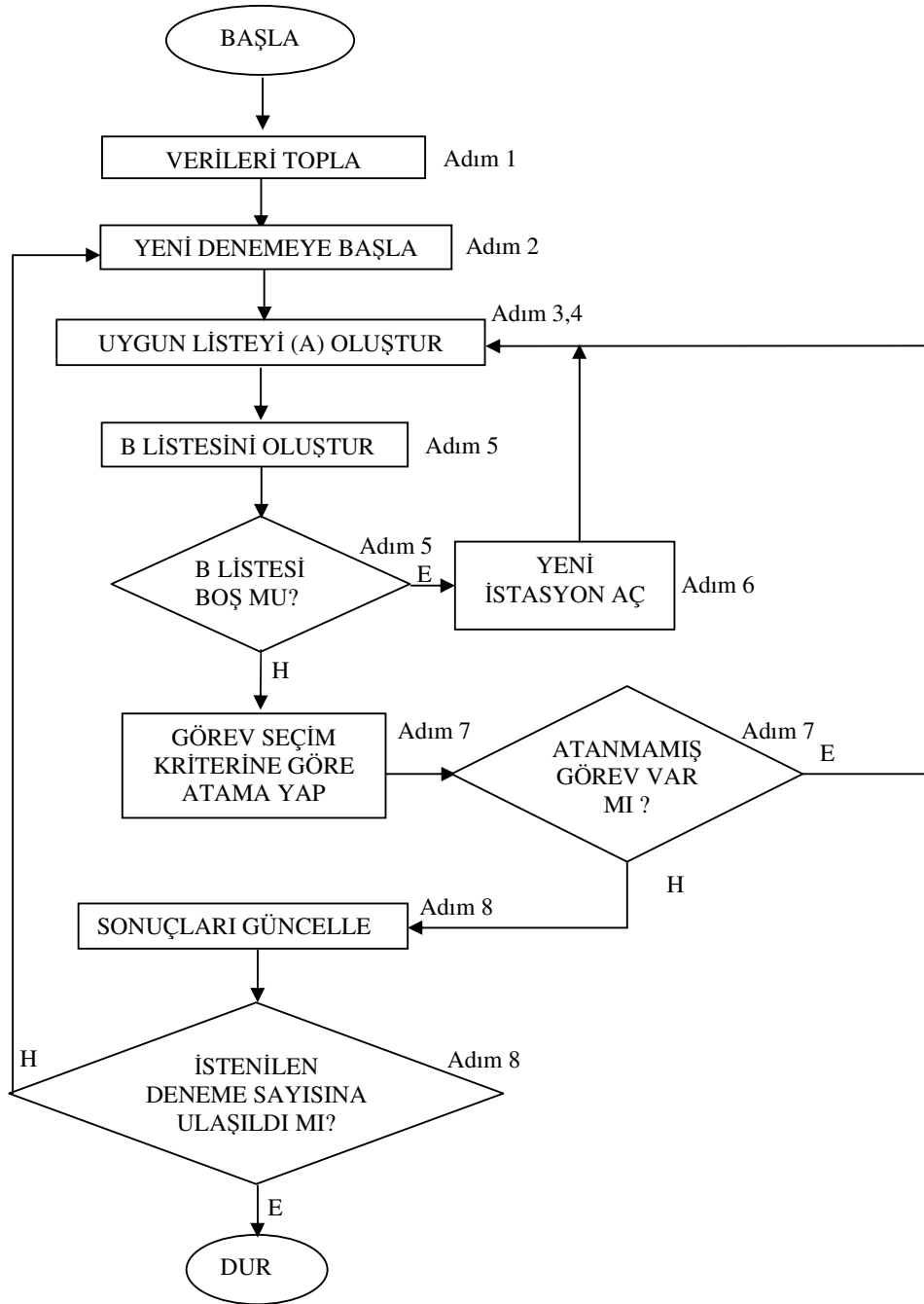
Prosedürde P_k daha önceki görev zamanları ile ilgili varsayımımıza dayanarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$P_k = 1 - F(Z_k)$$

Burada $F(Z_k)$ normal dağılan ortalaması 0, varyansı 1 olan rassal Z_k değişkeninin birikimli dağılım fonksiyonudur ve Eş. 5.1 ile elde edilmektedir.

$$Z_k = \frac{(C - \sum_{i \in S_k} \mu_i)}{\sqrt{\sum_{i \in S_k} \sigma_i^2}} \quad (5.1)$$

Bu tanımlamada α ise yönetici tarafından belirlenmiş olan istasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığının üst sınır değeridir. Literatürde bu üst sınır değeri için 0,95 ile 0,85 arasındaki değerler kullanılmıştır. Geliştirilen model ile çevrim zamanını aşma olasılığı üst sınırını (α) aşmayacak en küçük istasyon sayısı ile hattın dengelenmesi amaçlanmıştır. Sezgisel prosedür C++ programlama diliyle kodlanmış olup, bu programa ait akış diyagramı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5. 1. Sezgisel prosedür için akış şeması

5.1.1. Görev Seçim Kriterleri

Bölüm 5.1’de verilen sezgisel temel bir yapıya sahiptir. Sezgisel prosedürde sonucu belirleyen, görev seçim modülü yani vii. adımdır. Bu nedenle vii. adımın farklı yapıları geliştirilerek yeni sezgiseller elde edilmiştir. Söz konusu farklı yapılar geleneksel MHD için önerilen görev seçim kriterlerinin modifiye edilmesiyle ortaya çıkarılmıştır.

Literatürde stokastik problem yapısı içerisinde tamamlanmama maliyeti dikkate alınmadığında bunun dışındaki; rassal, en büyük görev zamanlı, en düşük değişim katsayısı (CV) gibi görev seçim kriterlerine rastlanmaktadır. Çalışmada bu seçim kriterlerinden rassal ve düşük değişim katsayısı (CV) kriterleri seçilmiştir. En düşük CV kriteri, görev zamanı ve varyansı birlikte dikkate almaktadır. Bu nedenle tek başına bir varyans veya görev zamanına dayalı seçim kriteri ele alınmamıştır.

Paralel hatlar için yeni oluşturulan seçim kriterlerinden birincisi tamamlanmama olasılığına bağlı oluşturulan ve C^* listesi olarak adlandırılan kriterdir.

Rassal seçim kriteri

Bu seçim kriterine göre istasyona atanabilir görev kümesi içerisinde rassal olarak belirlenen bir görev seçilir ve istasyona atanır. Bu seçim kriterine ait prosedür adımı aşağıdaki şekildedir.

Adım Seçim: $m = \text{card} \{B\}$ hesapla. Rassal olarak $RN \in \text{Unif}(1, m)$ sayısını üret. RN ’inci görevi açık olan istasyona ata, bu görevi $\{L_h, L_{h+1}\}$ listesinden çıkart.

C^* listesi kriteri

Bu kriterde izin verilen tamamlanmama olasılığına tam olarak sahip görevler araştırılır. Bu görevler ile yeni bir görev kümesi oluşturulur, atanacak görev yeni

görev kümesi içerisinde rassal olarak seçilir. Oluşturulan görev kümesi C^* listesi olarak adlandırılmıştır. Bu kriter ile izin verilen tamamlanmama olasılığı sınırı içerisinde istasyonların tam olarak doldurulması sağlanmaktadır. Seçim adımı:

Adım Seçim: Tüm $i \in B$ için, $P_{k+i} = \alpha$ ise i görevini C^* listesine ekle. Eğer C^* kümesi boş değilse $m = \text{card} \{ C^* \}$ hesapla, C^* kümesi boş ise $m = \text{card} \{ B \}$ hesapla. Rassal olarak $RN \in \text{Unif}(1, m)$ sayısını üret. RN 'inci görevi açık olan istasyona ata, ve bu görevi $\{L_h, L_{h+1}\}$ listesinden çıkart.

CV kriteri

CV kriteri ilk olarak Raouf ve Tsui [39] tarafından kullanılmıştır. CV değeri standart sapmanın ortalamaya oranıdır. Raouf ve Tsui [39] CV'yi Brady ve Drury [75] teoremini temel alarak kullanmışlardır. Teoreme göre bir kümeye eklenen yeni elemanın CV^2 'si kümenin CV^2 'sinin $(1+2r)$ katından daha az ise, yeni oluşacak kümenin CV'si eski kümenin CV'sinden düşük olacaktır. Burada r eski kümenin ortalamasının yeni elemanın ortalamasına oranıdır. Söz konusu seçim kriteri için seçim adımı şu şekildedir:

Adım seçim: Eğer istasyona ilk görev ataması değil ise $i \in B$ iken istasyon CV değerini düşürecek i görevini açık olan istasyona ata, L_h listesinden çıkart. İlk görev ataması ise veya istasyon CV değerini düşürecek görev yok ise $m = \text{card} \{ B \}$ hesapla, rassal olarak $RN \in \text{Unif}(1, m)$ sayısını üret, RN 'inci görevi açık olan istasyona ata ve bu görevi $\{L_h, L_{h+1}\}$ listesinden çıkart.

Bu kriter uygulanırken istasyonlara ilk görev ataması rassal olarak yapılmaktadır. Çünkü istasyonda görev yok iken seçim kriterinin uygulanabilmesi için gerekli olan CV değeri yoktur. Aynı zamanda ilk görevlerin rassal seçimi ile farklı çözümler araştırılmış olmaktadır.

5.2. Sezgisel Seçim Kriterlerinin Değerlendirilmesi

3 farklı görev seçim kriterini kullanan 3 farklı sezgisel oluşturulmuştur. Sezgiseller Borland C++ 6.0 programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında yeni sezgiseller kullandıkları görev seçim kriterleri ile adlandırılarak kullanılmıştır. Analiz için yeni oluşturulan 14 test problemi kullanılmıştır. Tüm sezgiseller ile her bir test probleminin çeşitli çevrim zamanları, 3 farklı tamamlanma seviyesi ve 3 farklı varyans tipi için çözümü yapılmıştır. Tamamlanma seviyeleri 0,95 yüksek (y), 0,90 orta (o) ve 0,85 düşük (d) olarak alınmıştır. Sezgiseller için durdurma koşulu olarak ön denemelerle 20000 iterasyon boyunca ilerleme olmaması durumu kabul edilmiştir. Her bir sezgisel için farklı rassal başlangıç sayıları ile 5 deneme yapılmıştır. Bu denemelerde bulunan en iyi değerler analiz için seçilmiştir. Yalnızca iki test problemine ait sonuçlar Çizelge 6.1’de örnek olarak sunulmuş, diğer 12 test problemine ait sonuçlar Ek-4’te verilmiştir

Aşağıdaki Çizelge 5.1.’de Jackson probleminin üç çevrim zamanı, üç olasılık düzeyi ve de üç varyans seviyesi için sezgisel yöntemle bulunan sonuçları görülmektedir.

Çizelge 5. 1.Sezgisel Yöntemlerin Test Problemleri için istasyon sonuçları (x=20000 iterasyon için)

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Merten_C12_85_d.txt	5	6	6	6	20704	22418	20704	22418	20009	20182	21,187	36,937	20,141	35,625	23,25	38,891
Merten_C12_85_r.txt	5	6	6	6	20009	21565	20009	21565	20329	21640	23,016	53,719	25,609	61,922	23,75	39,125
Merten_C12_85_y.txt	6	7	7	7	20002	20107	20002	20107	20002	20106	17,063	27,875	17,093	32,781	17,859	28,422
Merten_C12_90_d.txt	5	6	6	6	20186	21315	20186	21315	20009	20200	23,843	53,266	26,016	47,594	23,406	28,344
Merten_C12_90_r.txt	5	7	7	7	20187	26516	20187	26516	20792	28712	26,156	57,922	27,875	38,281	26,813	33,688
Merten_C12_90_y.txt	6	8	8	8	20019	20427	20019	20427	20019	20427	20,922	28,609	17,187	32,187	19,843	36,532
Merten_C12_95_d.txt	5	6	6	6	20186	20613	20186	20613	20009	20200	23,078	40,813	25,468	46,234	23,359	26,86
Merten_C12_95_r.txt	6	7	7	7	20138	20694	20138	20469	20024	20101	23,265	38,64	26,047	42,891	23,188	26,266
Merten_C12_95_y.txt	6	9	9	9	20028	20455	20028	20455	20000	20202	25,844	29,516	18,109	43,829	20,484	34,938
Merten_C14_85_d.txt	5	5	5	5	1	3	1	3	1	2	0	0,015	0	0,016	0	0
Merten_C14_85_r.txt	5	5	5	5	6	10	6	10	1	11	0	0,031	0,016	0,031	0	0,031
Merten_C14_85_y.txt	5	6	6	6	20026	21547	20026	21547	20051	20335	24,86	29,282	18,766	40,156	17,75	32,859
Merten_C14_90_d.txt	5	5	5	5	1	4	1	4	1	5	0	0,016	0	0,016	0	0
Merten_C14_90_r.txt	5	5	5	5	11	100	11	100	6	142	0,172	0,016	0,016	0,25	0	0,421
Merten_C14_90_y.txt	5	6	6	6	20009	21565	20009	21565	20136	21640	25,875	27,953	19,219	37,907	18	44,609
Merten_C14_95_d.txt	5	5	5	5	1	5	1	5	2	18	0	0,016	0	0,015	0	0,016
Merten_C14_95_r.txt	5	6	6	6	20080	20881	20195	20881	20041	20241	22,766	33,906	25,719	57,703	23,219	25,89
Merten_C14_95_y.txt	5	7	7	7	20002	20107	20002	20107	20002	20100	26,219	30,156	19,109	33,469	18,61	40,641
Merten_C16_85_d.txt	4	4	4	4	1	5	1	5	1	6	0	0,016	0	0,016	0	0,016
Merten_C16_85_r.txt	4	5	5	5	20025	20789	20025	20789	20446	21180	21,766	47,391	23,578	48,437	21,937	26,485
Merten_C16_85_y.txt	4	5	5	5	20053	20831	20053	20831	20011	21002	24,875	28,985	18,172	33,25	19,172	42,907
Merten_C16_90_d.txt	4	5	5	5	21291	36243	21291	26343	20022	20567	27,984	55,032	32,219	55,032	21,14	28,109
Merten_C16_90_r.txt	4	5	5	5	20214	21110	20218	21110	20018	20090	22,031	30,812	25,297	43,813	21,235	25,454
Merten_C16_90_y.txt	4	5	5	5	20005	20200	20005	20200	20005	20200	24,954	28,437	18,187	28,375	19,063	35,953
Merten_C16_95_d.txt	4	5	5	5	20009	20924	20009	20924	20001	20493	21,766	29,718	27,015	36,969	20,469	25,922
Merten_C16_95_r.txt	4	5	5	5	20500	32926	20500	24256	20266	28676	25,937	36,015	31,906	45,25	22,766	55,578
Merten_C16_95_y.txt	5	6	6	6	20004	20181	20004	20181	20004	20109	19,937	29,422	18,016	37,219	17,844	36,391
Merten_C20_85_d.txt	3	3	3	4	2	23	2	23	20151	20473	0	0,031	0,015	0,031	22,813	42,547
Merten_C20_85_r.txt	3	4	4	4	20043	20150	20043	20150	20052	20258	17,297	30,25	14,86	43,532	22,562	45,109
Merten_C20_85_y.txt	4	4	4	4	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0,016

Çizelge 5. 1. (Devam) Sezgisel Yöntemlerin Test Problemleri için istasyon sonuçları (x=20000 iterasyon için)

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Merten_C20_90_d.txt	3	3	3	4	6	33	6	33	20007	20284	0	0,078	0,015	0,094	22,391	30,5
Merten_C20_90_r.txt	3	4	4	4	20013	20125	20013	20125	20037	21398	21,203	31,453	17,141	30,921	22,75	38,218
Merten_C20_90_y.txt	4	4	4	4	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0
Merten_C20_95_d.txt	3	4	4	4	20004	20738	20004	20738	20014	20033	21,438	37,281	18,891	41,812	22,313	45
Merten_C20_95_r.txt	4	4	4	4	1	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0
Merten_C20_95_y.txt	4	4	4	4	2	64	2	64	2	64	0	0,078	0,015	0,094	0	0,078

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Jaeschke_C11_85_d.txt	7	8	8	8	20238	20954	20238	20954	20238	21090	19,171	29,078	19,75	29,625	19,359	30,141
Jaeschke_C11_85_r.txt	7	9	9	10	20002	20016	20002	20016	20000	20027	23,047	28,313	28,031	29,141	22,469	32,359
Jaeschke_C11_85_y.txt	7	10	10	10	20000	20008	20000	20008	20000	20008	27,859	33,157	28,297	30,313	28,812	31,641
Jaeschke_C11_90_d.txt	7	8	8	8	20047	22296	20047	22296	20367	27038	27,14	31,844	28,687	33,469	28,875	43,235
Jaeschke_C11_90_r.txt	7	10	10	10	20000	20149	20000	20149	20000	20003	28,078	29,078	28,875	36,89	28,734	29,875
Jaeschke_C11_90_y.txt	8	11	11	11	20000	20009	20000	20009	20000	20009	28,671	30,578	29,547	39,469	29,172	31,094
Jaeschke_C11_95_d.txt	7	8	8	8	20001	20212	20001	20212	20001	20126	27,281	28,234	27,906	29,172	28,203	30,156
Jaeschke_C11_95_r.txt	7	11	11	11	20030	20148	20030	20148	20030	20148	28,422	31,703	28,891	33,359	28,922	30,312
Jaeschke_C11_95_y.txt	8	13	13	13	20003	20027	20003	20027	20003	20027	29,937	30,562	30,563	40,813	30,703	31,281
Jaeschke_C13_85_d.txt	6	7	7	7	20161	21692	20161	21692	20161	21297	27,047	30,031	28,641	33,313	28,406	31,859
Jaeschke_C13_85_r.txt	6	7	7	8	20007	20070	20007	20070	20007	20439	27,375	29,375	28,234	33,265	28,859	30,953
Jaeschke_C13_85_y.txt	6	8	8	8	20021	23847	20021	23847	20021	22146	27,657	36,515	28,844	34,234	28,937	33,25
Jaeschke_C13_90_d.txt	6	7	7	7	20161	21692	20161	21692	20161	21297	27,204	30,234	28,282	32,485	28,594	33,297
Jaeschke_C13_90_r.txt	6	7	7	8	20007	20093	20007	20093	20007	20139	27,265	29,015	27,984	34,953	28,703	30,922
Jaeschke_C13_90_y.txt	6	8	8	8	20016	20664	20016	20664	20016	20611	27,579	29,813	28,89	30,782	28,922	39,359
Jaeschke_C13_95_d.txt	6	7	7	7	20095	20642	20095	20642	20058	20872	26,828	27,953	27,594	31,281	28,469	33,578
Jaeschke_C13_95_r.txt	6	8	8	8	20042	20896	20042	20896	20042	20501	27,938	29,078	28,938	33,781	29,234	30,578
Jaeschke_C13_95_y.txt	7	9	9	9	20039	20449	20039	20449	20039	20113	28,015	28,922	29,063	32,593	29,297	29,844
Jaeschke_C15_85_d.txt	5	6	6	6	20009	20059	20009	20059	20010	20050	25,953	26,906	26,922	28,719	27,781	28,172

Çizelge 5. 1. (Devam) Sezgisel Yöntemlerin Test Problemleri için istasyon sonuçları (x=20000 iterasyon için)

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Jaeschke_C15_85_r.txt	5	6	6	6	21150	22403	21150	22403	21150	30089	28,625	32,5	28,828	31,859	29,718	43,609
Jaeschke_C15_85_y.txt	6	7	7	7	20014	20380	20014	20380	20014	20380	27,187	37,672	27,968	29,781	29,032	29,688
Jaeschke_C15_90_d.txt	5	6	6	6	20009	20059	20009	20059	20010	20050	26,062	26,875	26,61	30,437	27,469	27,765
Jaeschke_C15_90_r.txt	5	7	7	7	20007	20085	20007	20085	20107	20363	27,297	27,719	27,812	31,563	28,657	29,203
Jaeschke_C15_90_y.txt	6	7	7	7	20007	20185	20007	20185	20026	20112	27,61	28,437	28,563	30,937	29,125	31,078
Jaeschke_C15_95_d.txt	5	6	6	6	20021	20100	20021	20100	20005	20032	26,14	26,703	26,844	29,281	27,578	27,922
Jaeschke_C15_95_r.txt	6	7	7	8	20007	20070	20007	20070	20007	20439	27,234	28,281	27,969	31,437	28,828	29,437
Jaeschke_C15_95_y.txt	6	7	7	7	20001	20121	20001	20121	20001	20065	27,234	27,937	28,016	30,766	28,375	28,984
Jaeschke_C17_85_d.txt	5	5	5	5	1	5	1	5	2	8	0	0	0	0,015	0	0,016
Jaeschke_C17_85_r.txt	5	5	5	5	9	21	9	21	9	21	0,016	0,032	0,015	0,032	0,015	0,032
Jaeschke_C17_85_y.txt	5	6	6	6	20022	20103	20022	20103	20142	20586	26,5	27,125	26,984	27,75	28,672	31,469
Jaeschke_C17_90_d.txt	5	5	5	5	1	4	1	4	2	8	0	0,016	0	0,016	0	0,016
Jaeschke_C17_90_r.txt	5	6	6	6	20065	22271	20065	22271	20065	20826	26,563	32,187	27,203	30,688	28,688	29,781
Jaeschke_C17_90_y.txt	5	6	6	6	20018	20300	20018	20300	20018	20316	26,812	28,984	27,516	33,031	28,781	29,875
Jaeschke_C17_95_d.txt	5	5	5	5	1	17	1	17	1	27	0	0,016	0	0,016	0	0,046
Jaeschke_C17_95_r.txt	5	6	6	6	20047	20187	20047	20187	20065	20719	26,39	29,782	26,875	28,156	27,969	28,921
Jaeschke_C17_95_y.txt	5	7	7	7	20003	20130	20003	20130	20003	20130	27,015	34,141	27,593	28,656	28,75	29,156
Jaeschke_C19_85_d.txt	4	5	5	5	20005	20760	20005	20760	20000	20110	25,593	27,469	26,282	27,906	27,281	27,844
Jaeschke_C19_85_r.txt	4	5	5	5	20010	20288	20010	20288	20011	20288	25,64	26,906	26,359	27,344	27,579	32,36
Jaeschke_C19_85_y.txt	4	5	5	5	20062	20269	20062	20269	20005	20084	25,734	26,781	26,657	27,578	28,203	31,516
Jaeschke_C19_90_d.txt	4	5	5	5	20005	20760	20005	20760	20000	20110	25,812	26,921	26,156	28,625	27,328	27,922
Jaeschke_C19_90_r.txt	4	5	5	5	20002	20100	20002	20100	20011	20288	25,594	26,454	26,219	28,468	27,484	28,875
Jaeschke_C19_90_y.txt	5	5	5	5	1	11	1	11	1	36	0	0,016	0	0,016	0	0,047
Jaeschke_C19_95_d.txt	4	5	5	5	20128	20577	20128	20577	20008	20245	25,843	27,062	26,453	27,844	27,469	29,25
Jaeschke_C19_95_r.txt	5	5	5	5	1	13	1	13	5	16	0	0,016	0	0,016	0,015	0,031
Jaeschke_C19_95_y.txt	5	6	6	6	20022	20103	20022	20103	20011	20276	26,203	27,141	26,921	27,75	28,297	28,969

Çizelge 5.1 ve Ek-4'teki problem adları sırasıyla “problem ismi_çevrim zamanı_tamamlanma olasılığı_varyans tipi” şeklinde oluşturulmuştur. İstasyon sayısı deneme sayısı ve süre sütunlarında yer alan “ r ” rassal seçim kriteri, “ C^* ”, C^* listesi seçim kriteri, CV ise CV seçim kriteri için kullanılan kısaltmalardır. İstasyon sayısı sütununda yer alan K_{min} , teorik en küçük istasyon sayısını, “*” ile yer alan değerler tam sayılı programlama modelleri ile bulunan en iyi istasyon sayılarını ifade etmektedir. Bu problemlere ek olarak Gökçen ve ark. [4] çalışmasındaki 12 adet literatür problemi için de denemeler yapılmış, sezgisellerin uygulanabilmesi için her bir problem üç varyans katsayısı seviyesinde (düşük ($0 < CV \leq 0,3$), yüksek ($0,3 < CV \leq 0,6$) ve rassal ($0 < CV \leq 0,6$)) ve üç ayrı istasyon zamanını aşma olasılığı düzeyinde (düşük (0,05), Orta (0,10) ve yüksek (0,15)) oluşturulmuştur.

Ulaşılan sonuçlar küçük (30 göreve kadar), orta (60 göreve kadar), büyük (60 görev ve üstü) boyutlu olmak üzere üç alt kümeye ayrılarak deneme ve istasyon sayıları için incelenmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda 918 adet problem üretilmiş; bunlar da üç farklı metotla çözümlenerek teorik en küçük istasyon sayılarıyla kıyaslaması yapılmıştır. Sadece Merten, Jaeschke ve Jackson problemleri için şans kısıtlı modelleme sonucunda elde edilen en iyi sonuçlar bulunmuştur.

Küçük boyutlu (KB) 4 farklı test problemi kümesinde bulunan 216 problem çözülmüştür. Denemelerde rassal seçim kriteri (“ r ”) ve C^* listesi seçim kriterinin (“ C^* ”) hemen hemen aynı davranışı sergilediği görülmektedir. Problemlerden 87’sinin en iyi değeri bilinmektedir. Bu problemlerden 39’u için sezgisellerle en iyi çözüme ulaşılmıştır. Sezgisellerden CV kriterinde 5 problem için 1 istasyon sapma görülmüştür. En iyi değeri bilinmeyen 131 problemin 8’inde CV , 10’unda 2 kriter teorik en küçük istasyon sayısını bulmuştur. K_{min} ’den istasyon sayısına göre saptamalar Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5. 2. Küçük boyutlu test problemleri için istasyon sayısı karşılaştırmaları

Seçim Kriteri	Çözülen Problem Sayısı (PS)	En İyi Değeri Bulunan PS	K_{min} 'den Sapma Miktarı (İstasyon Sayısı)		
			1	2	2<
r	216	49	125	30	12
C*	216	49	125	30	12
CV	216	47	130	28	11

Kriterlerin iterasyon sayılarına göre ortalama, standart sapma vb. bilgileri Çizelge 5.3'te verilmektedir. İterasyon sayılarının farklılıklarının tespitinde r iterasyon sayısı baz alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. C* listesi kriteri 2 problemde daha fazla iterasyon ile sonuca ulaşabilirken, CV 51 problemde daha fazla iterasyon ile sonuca ulaşmıştır.

Çizelge 5. 3. Küçük boyutlu test problemleri için iterasyon sayıları ile ilgili bilgiler

Seçim Kriteri	İterasyon				
	Enküçük	Enbüyük	Ort	Std. Sapma	Toplam
r	1	70963	21460,45	14451,19	7358150
C*	1	70963	21463,84	14461,29	7296352
CV	1	90461	21292,54	13583,71	7196879

CV diğer 2 kritere göre iterasyon sayısı temel alındığında en küçük, ortalama, standart sapma, toplam iterasyon sayılarına göre daha iyi değerlere sahiptir. Aynı zamanda CV istasyon sayılarına göre K_{min} 'den sapmalar toplamına bakıldığında yine en küçük değere sahiptir. Bu nedenle KB test problemlerinde CV'nin, diğerlerine göre daha iyi sonuçlar ürettiğini söyleyebiliriz.

Küçük boyutlu problemler için yapılan bu analizler Orta Boyutlu (OB) probleme göre de Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'de verilmektedir.

Çizelge 5. 4. Orta boyutlu test problemleri için istasyon sayısı karşılaştırmaları

Seçim Kriteri	Çözülen Problem Sayısı (PS)	En iyi değeri Bulunan PS	K_{min} 'den Sapma Miktarı (İstasyon Sayısı)		
			1	2	2<
r	171	30	68	40	33
C*	171	30	68	40	33
CV	171	31	69	38	33

Çizelge 5. 5. Orta boyutlu test problemleri için iterasyon sayıları ile ilgili bilgiler

Seçim Kriteri	İterasyon				
	Enküçük	Enbüyük	Ort	Std. Sapma	Toplam
r	1	76746	29296,49	19419,29	9966869
C*	1	76746	29225,34	19633,49	9954245
CV	1	80928	29705,48	20488,53	10040452

3 farklı test problemi kümesi altında 171 OB problem çözülmüştür. OB problemlerden 4'ünde de en iyi sonuç bilinmektedir ve her üç 3 kriterle de bu sonuçlara ulaşılmıştır. OB test problemleri için bulunan sonuçlar istasyon sayılarına göre karşılaştırıldığında, seçim kriterlerinin çözülen problemlerin yaklaşık %18'inde en iyi, %41'inde teorikten bir istasyon sapma ile sonuca ulaştıkları görülmüştür. C* ile r kriteri arasında bu problem için farklılık görülmemiş, bir problemde CV diğerlerinden iyi sonuç bulmuştur. İterasyon sayılarına göre karşılaştırma yapıldığında, C*, r ile yaklaşık olarak aynı iterasyon sayısı ile sonuca ulaşmıştır. Çizelge 5.5'e bakıldığında CV'nin daha fazla iterasyonla sonuca ulaştığı görülmüştür. OB test problemleri için istasyon ve iterasyon sayısı birlikte değerlendirildiğinde r ve C*'nin CV kriterinden daha iyi olduğunu söyleyebiliriz.

Karşılaştırmalar 7 adet büyük boyutlu (BB) test problemi için yapıldığında Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 ortaya çıkmıştır.

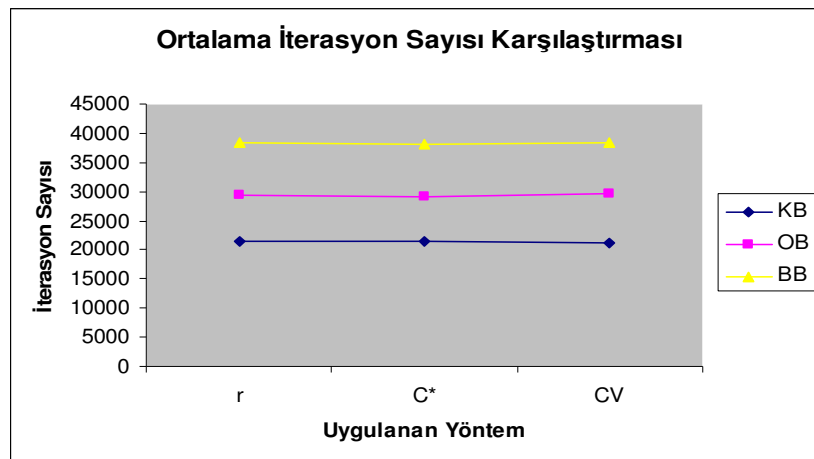
Çizelge 5. 6. Büyük boyutlu test problemleri için istasyon sayısı karşılaştırmaları

Seçim Kriteri	Çözülen Problem Sayısı (PS)	En iyi değeri Bulunan PS	K_{min} 'den Sapma Miktarı (İstasyon Sayısı)			
			1-5	5-10	10-15	15<
r	531	4	276	118	52	81
C*	531	4	276	118	52	81
CV	531	3	277	120	49	82

Çizelge 5. 7. Büyük boyutlu test problemleri için iterasyon sayıları ile ilgili bilgiler

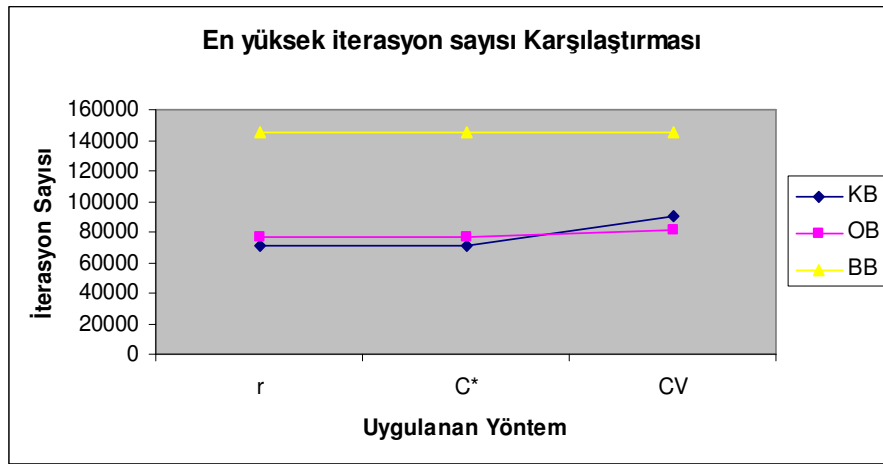
Seçim Kriteri	İterasyon				
	Enküçük	Enbüyük	Ort	Std. Sapma	Toplam
r	2	144746	38255,54	18886,94	40627382
C*	2	144746	38223,3	18882,74	40522478
CV	1	144641	38505,06	19111,93	40657072

BB problemlerin tümünde r ve C^* aynı sonuca ulaşmışlardır. CV 15 problemde kötü sonuç vermiştir. CV tek başına diğer iki kriterden 11 problemde daha iyi, sonuç vermiştir. Çizelge 5.7 incelendiğinde r , C^* ve CV 'nin iterasyon sayılarının birbirine yakın ortalamaya sahip olduğu, fakat CV 'nin standart sapmasının büyük olduğu görülmektedir. İterasyon sayıları bakımından üç kriterin birbirine yakın sonuçlar sergilediği görülmüştür.

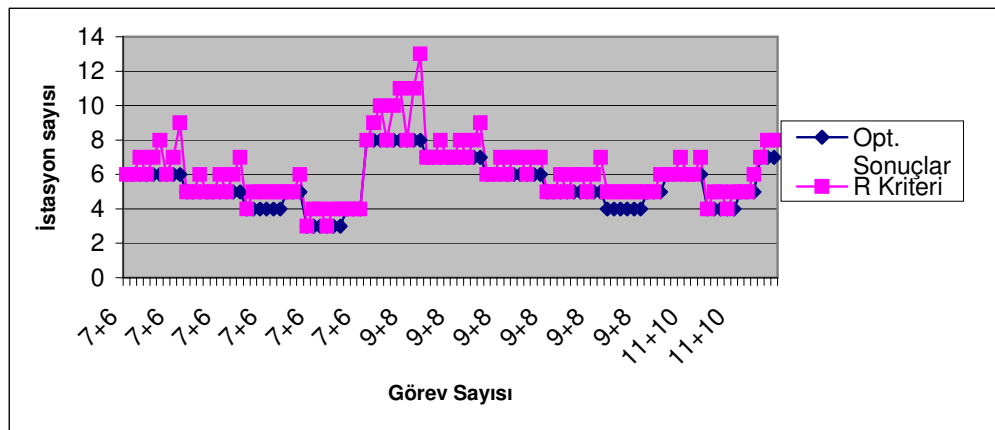


Şekil 5. 2. Küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için ortalama iterasyon sayıları karşılaştırma grafiği

Üzerinde çalışılan küçük, orta ve büyük boyutlu test problemleri için iterasyon sayıları kıyaslandığında r , C^* ve CV kriterlerini ele alan sezgisel yöntemler arasında farsızlık olduğu görülmektedir. (Şekil 5.2.) Diğer taraftan en yüksek iterasyon sayıları dikkate alınarak bu karşılaştırma yapıldığında ise CV seçim kriterli sezgisel yöntemin küçük boyutlu problemlerdeki iterasyon sayısı diğer sezgisellere göre daha fazladır. (Şekil 5.3.)

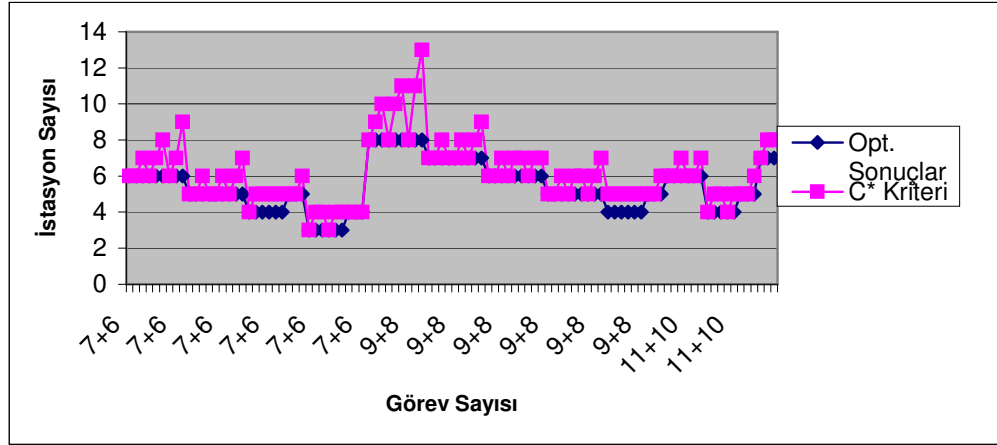


Şekil 5. 3. Küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için en yüksek iterasyon sayıları karşılaştırma grafiği

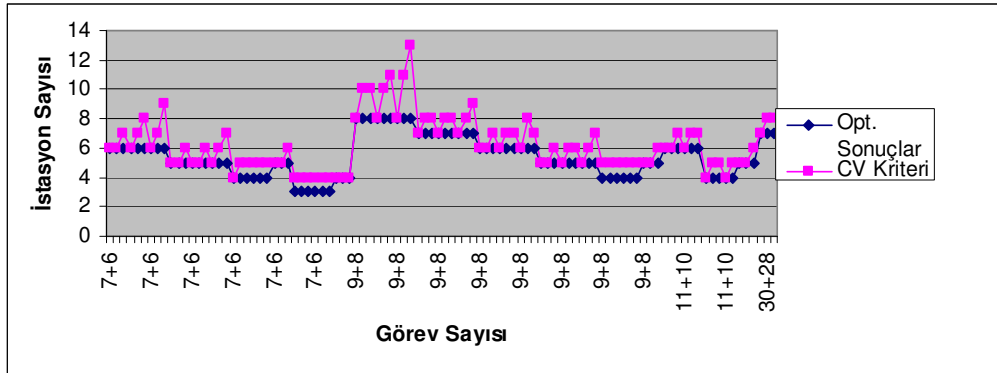


(a)

Şekil 5. 4. En iyi değeri bilinen test problemleri için (a) rassal seçim kriteri, (b) C^* listesi kriteri, (c) CV kriteri sezgisel yöntemlerinin sonuçları



(b)

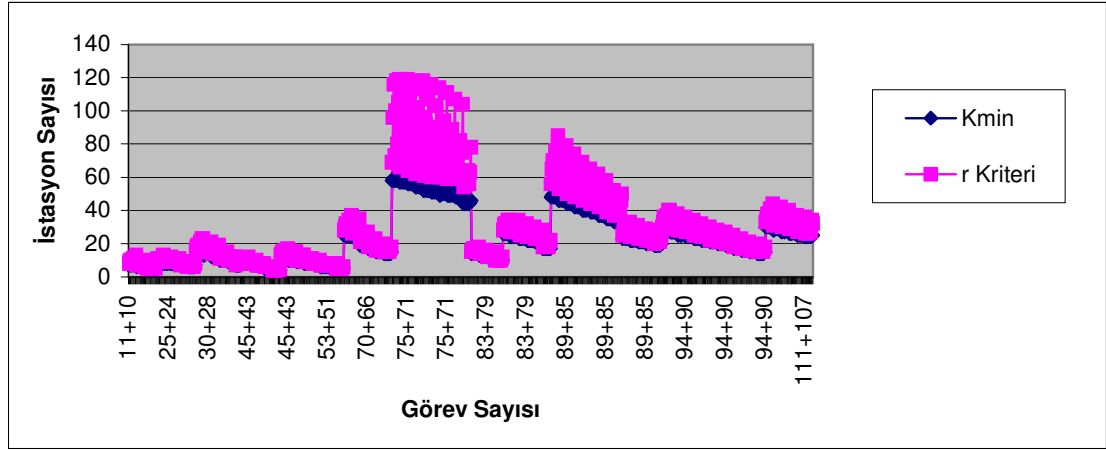


(c)

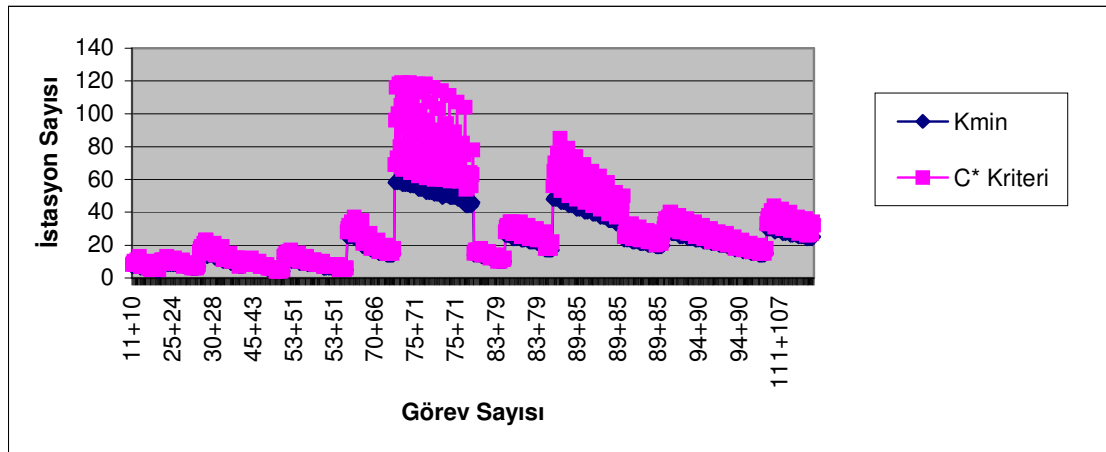
Şekil 5. 4. (Devam) En iyi değeri bilinen test problemleri için (a) rassal seçim kriteri, (b) C* listesi kriteri, (c) CV kriteri sezgisel yöntemlerinin sonuçları

En iyi değeri bilinen test problemleri incelendiğinde, sezgisel yöntemlerle elde edilen sonuçlarla en iyi sonuçlar arasındaki sapma miktarları Şekil 5.4'te verilen grafikler aracılığıyla görülebilmektedir. En iyi değerleri bilinen test problemleri için sezgisel yöntemlerin bulmuş oldukları sonuçlar arasında bulunan istasyon sayısı açısından bir farklılık oluşmamıştır.

En iyi değerleri ispatlanmamış veya bulunamamış test problemleri üzerinde sezgisel yöntemlerin performansı incelendiğinde Şekil 5.5.'deki grafikler elde edilmiştir.

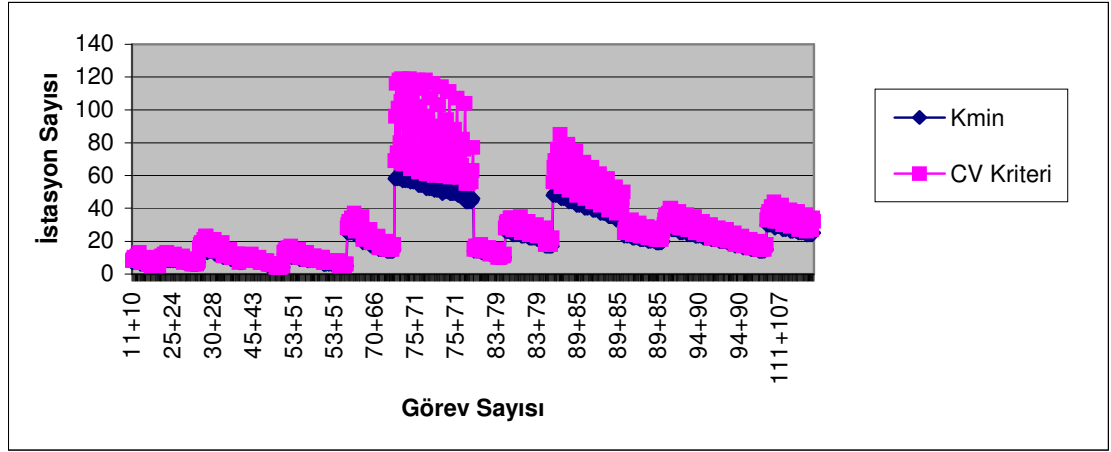


(a)



(b)

Şekil 5. 5. En iyi değeri bilinmeyen test problemleri için (a) rassal seçim kriteri, (b) C* listesi kriteri, (c) CV kriteri sezgisel yöntemlerinin sonuçları



(c)

Şekil 5.5. (Devam) En iyi değeri bilinmeyen test problemleri için (a) rassal seçim kriteri, (b) C* listesi kriteri, (c) CV kriteri sezgisel yöntemlerinin sonuçları

Şekil 5.5'te verilen grafiklerdeki kıyaslamalar ele alınan test problemlerinin en iyi değerleri bilinemediğinden dolayı K_{min} teorik en küçük istasyon sayısı değerleri ile yapılmıştır. İki grup test problemi dışında iyi sonuçlar elde edilmiştir. Büyük sapmaların olduğu problemler sırasıyla 75+71 görev sayısı ve 89+85 görev sayıları ile ifade edilen WeeMag, Lutz2 ve Lutz3 problemleridir. Bunlardaki yüksek sapmanın sebebi görev zamanlarının çevrim zamanına çok yakın değerler olması ve bundan dolayı da stokastiklik gözönüne alındığında verilmiş olan tamamlanmama olasılık seviyelerini aşmaya yatkın olmalarıdır. Diğer bir sebep olarak da bu problemlerin esneklik oranlarının bilhassa Lutz 2 ve Lutz 3 problemlerinde sıfıra yakın olması dolayısıyla atama alternatiflerinin azalmasıdır.

6. PARALEL STOKASTİK MHD PROBLEMİ İÇİN MALİYETE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM

Bu bölüme kadar, geliştirilen tamsayılı model ve sezgisel yöntemlerde kullanılan amaç fonksiyonlarında görevlerin tamamlanmama maliyetleri göz önüne alınmamıştır. Geleneksel düz hatlar için literatürde maliyet tabanlı birçok algoritma bulunmaktadır. Çalışmanın bu kısmında geliştirilen yeni algoritma ile SPMHD problemleri için tamamlanmama maliyetini dikkate alan çözümlere ulaşılması amaçlanmıştır.

Önerilen sezgiselin geliştirilmesinde Bölüm 6.1’de özetlenen geleneksel hatlar için önerilen algoritmalar ve bunların kullandığı maliyet fonksiyonları göz önünde bulundurulmuştur.

6.1. Stokastik MHD Problemleri için Maliyet Fonksiyonları

Maliyet tabanlı algoritmalarda amaç toplam maliyetin en küçüklenmesidir. Toplam maliyet fonksiyonu ise birbirine bağlı iki maliyet fonksiyonundan oluşmaktadır.

Toplam Maliyet = İşçilik Maliyeti + Toplam Tamamlanmama Maliyeti

İşçilik maliyeti geliştirilen tüm maliyet modellerinde aynıdır ve istasyon sayısının bir fonksiyonudur.

İşçilik Maliyeti = İstasyon Sayısı x Çevrim Zamanı x Birim İşçilik Maliyeti

İşçilik maliyeti istasyon sayısı ile doğru orantılı artmakta ve azalmaktadır.

Tamamlanmama maliyeti ise istasyonlarda tamamlanmayan birimlerin oluşturduğu maliyettir. Bu maliyet fonksiyonu için geleneksel hatlara yönelik farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlardan ilki Kottas ve Lau [19] tarafından sunulmuştur. Çalışmada

sunulan maliyet fonksiyonu, tamamlanmayan birimlerin hat dışında tamamlandıkları varsayımı üzerine kurulmuştur.

$$ETIC = \sum_{i=1}^n P_i(G).I(G) \quad (6.1)$$

Eş. 6.1 ile verilen $ETIC$, toplam beklenen tamamlanmama maliyetidir. $P_i(G)$, i görevinin tamamlanmama olasılığı, $I(G)$, i görevi ve ardıllarının toplam hat dışında tamamlanma maliyetidir. Eğer i görevi tamamlanamazsa, i görevinin ardılları da tamamlanamaz. Bu nedenle i görevi için tamamlanmama maliyeti hesaplanırken ardıllarının da hat dışında tamamlanma maliyeti dikkate alınmaktadır. Geliştirilen maliyet yaklaşımı basit ve kullanışlı bir yapıya sahiptir. Kottas ve Lau [20] yaptıkları ikinci çalışmada daha karmaşık yapıya sahip, tüm tamamlanmama kombinasyonlarını dikkate alan yeni bir maliyet fonksiyonu sunmuşlardır. Fakat bu fonksiyon, dengelenmesi yapılmış hatlar üzerinde kullanılabilir.

Silverman ve Carter [41] geliştirdikleri yaklaşımda, hattın tamamlanmayan görev olduğunda istasyonun ihtiyacı olan ek süre kadar durdurulduğunu varsayarak Eş. 6.2’de verilen yeni bir maliyet fonksiyonu sunmuşlardır.

$$ETIC = A \int_{t_c}^{\infty} (1 - G(w)) dw \quad (6.2)$$

Burada A , çevrim zamanını aşmanın ceza maliyeti, $G(w)$, tüm istasyonların w zamanda görevlerini tamamlama olasılığı, $(1 - G(w))$ en küçük bir istasyonun görevlerini w zamanda tamamlamama olasılığıdır; t_c , ise çevrim zamanını göstermektedir. Alınan integral ile çevrim zamanının aşılma olasılıklarının toplamı elde edilmiş olacaktır. Çalışmada integral t_c ’nin 0.0001 birimlik artırımlarıyla hesaplanmıştır. Fonksiyonun uygulanabilirliği integral hesabı nedeniyle düşüktür.

Shin [23], geliştirdiği yaklaşımda görevlerin her birinin tamamlanmama olasılığı yerine istasyonun iş yükünün tamamlanmama olasılığını temel almış ve Eş. 6.3'te görülen maliyet fonksiyonunu ortaya koymuştur.

$$ETIC = a.u. \left(\sum_{j=1}^K \left[(1 - \alpha_j) \cdot \sum_{h=j}^K M_h \right] \right) \quad (6.3)$$

Eş. 6.3'te , a fazla mesai, u işçilik hariç birim hat işleme maliyetidir. M_h ise istasyon ortalama zamanı, yani istasyondaki görevlerin ortalama zamanları toplamıdır.

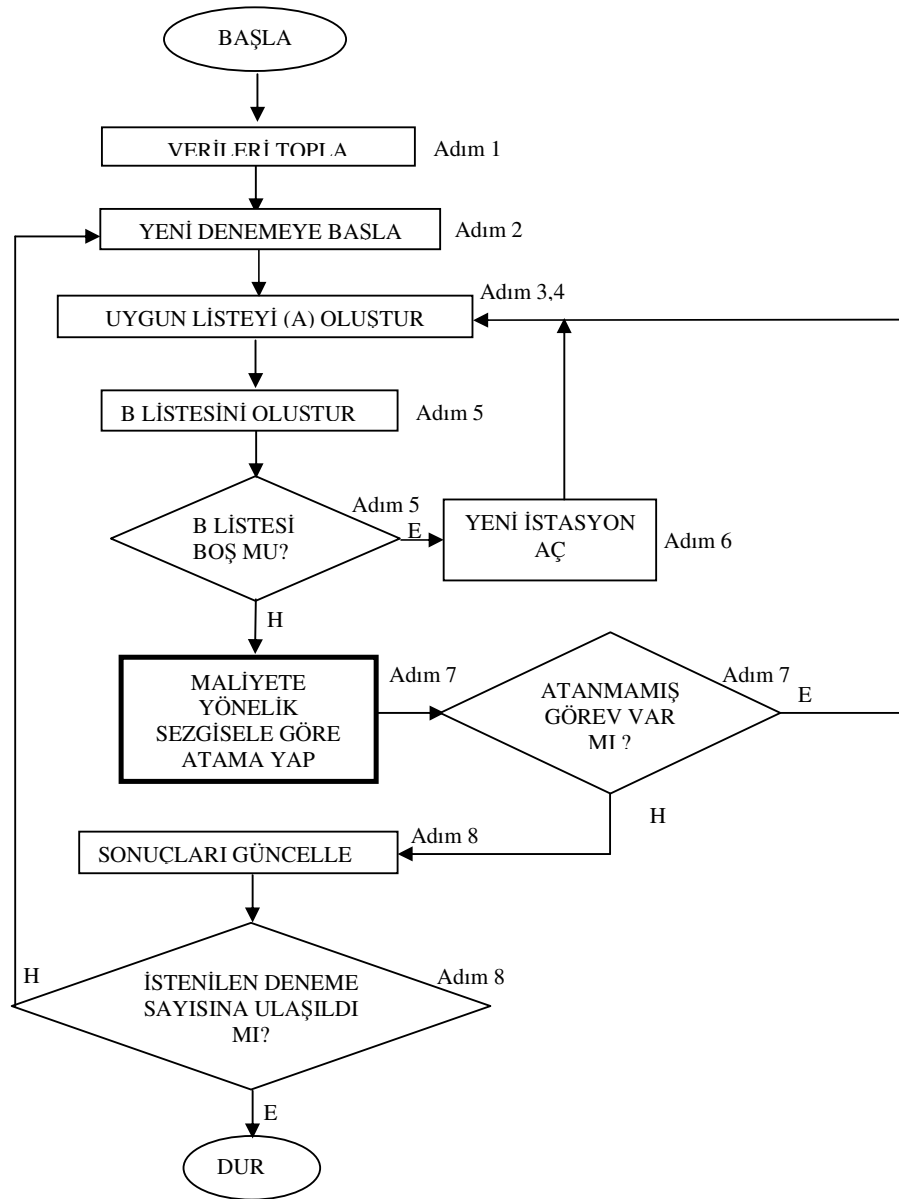
Sarin ve Erel [43], Kottas ve Lau [20] maliyet fonksiyonuyla aynı doğrultuda montaj hattı için tüm farklı kombinasyonları dikkate alarak, birerleme tabanlı bir algoritmayla tamamlanmama olasılıklarını hesaplayarak tamamlanmama maliyetini hesaplamışlardır.

Gökçen ve Baykoç [17], stokastik görev zamanlı MHD problemlerinde tamamlanamayan işlerin seyyar bir istasyon vasıtasıyla yapılması durumunda bu işlerin hattın etkinliğine olan etkisinin azaltılacağı sonucuna varmışlardır. Bu çalışmanın etkisini görmek için simulasyon kullanılmıştır.

6.2. Stokastik Paralel MHD Problemleri için Maliyete Yönelik Bir Sezgisel

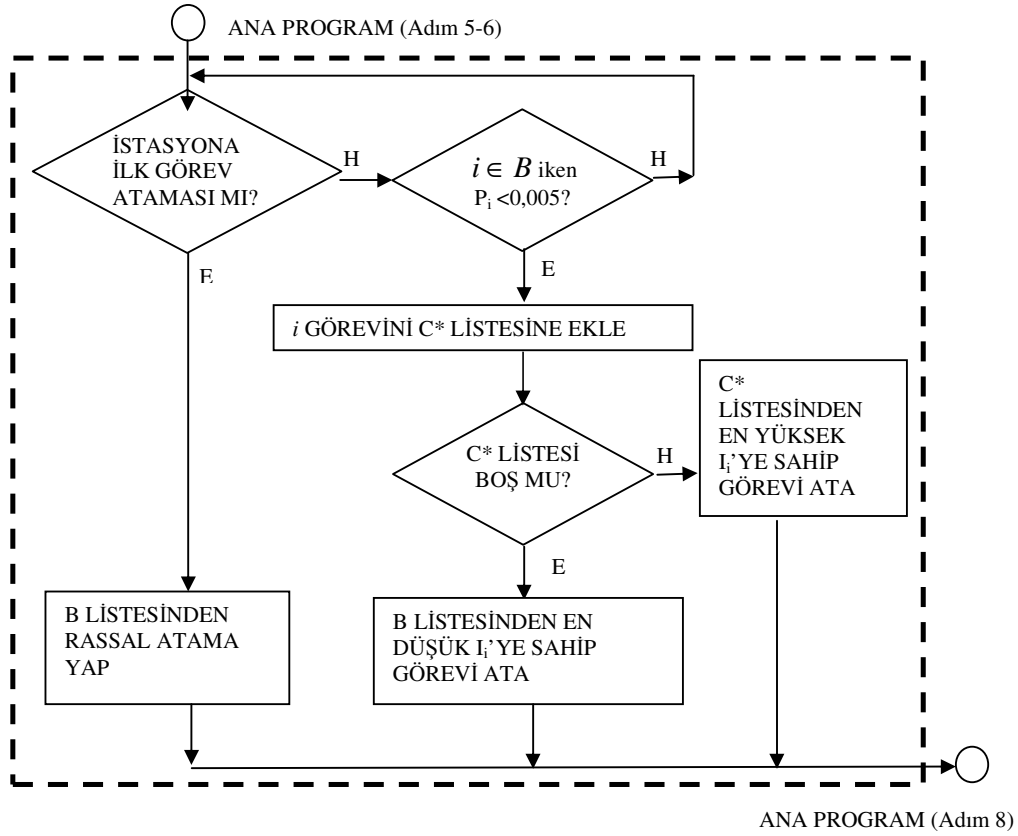
Bölüm 6.1'de incelenen maliyet fonksiyonlarından ilki ve temel nitelikte olanı Kottas-Lau'nun [19] maliyet fonksiyonudur. Kottas-Lau [19] aynı çalışmada bu maliyet fonksiyonunu kullanan bir de sezgisel sunmuşlardır. Kottas-Lau'nun [19] çalışması içerisindeki maliyet fonksiyonu; kullanım, hesaplama kolaylığı ve olasılık hesaplama yönteminin etkinliği nedeniyle Paralel hatlarda maliyeti dikkate alan bu ilk çalışmada kullanılmak için seçilmiştir. Çalışmada, bu sezgisel değiştirilerek Paralel hatlar için yeniden oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritma tek bir sonuç sunmaktadır. Yani daha iyi bir sonucun var olma durumunu göz ardı etmektedir. Yapılan n testlerde algoritmanın etkin sonuçlara ulaşamadığı grlmştir. Bu

durum geleneksel hatlar içinde, Kottas ve Lau'da [21] dikkate alınmış ve algoritma rassallık içerecek şekilde modifiye edilmiştir. Bu nedenle, çalışmada bunlar dikkate alınarak çözüm uzayı içerisindeki daha fazla çözümün incelenebilmesi için algoritma yeniden modifiye edilmiş ve Bölüm 5'te sunulan seçim kriterlerine benzer yapıda fakat maliyet en küçüklemesini amaçlayan yeni bir görev seçim kriteri oluşturulmuştur. (Şekil 6.1.)



Şekil 6. 1. MYS için akış şeması

Bölüm 5'te verilen temel sezgisel yapı, çözüm oluşturma ve güncellemede maliyeti göz önüne alacak şekilde yeniden düzenlenmiştir (Şekil 6.2.).



Şekil 6. 2. MYC seçim kriteri akış şeması

Maliyete yönelik seçim kriterini de içeren yeni sezgiselin adımları aşağıda verilmiştir.

- i. Başlangıç atamaları ($x=0, h=0, k=0$)
- ii. Yeni denemeye başla; $x=x+1$ ata
- iii. $H-1$ 'e kadar $h=h+1$, ata $k=k+1$ (Yeni istasyon aç)
- iv. Tüm $i \in \{L_h, L_{h+1}\}$ için, $NSc(h(i))=0$ olanlardan A listesi oluştur.
- v. Tüm $i \in A$ için, eğer $P_{k+i} \leq \alpha$ ise i 'yi B listesine ekle. Eğer B boş değil ise, Adım vii'ye git.
- vi. Yeni istasyon aç, Adım iv'e git

- vii. Adım seçim: Eğer istasyona ilk görev ataması değil ise, $i \in B$ iken $P_i < 0.005$ ise i görevini C^* listesine ekle (kesin liste). C^* listesi boş ise B listesi (kabul edilebilir liste) içindeki en düşük I_i 'ye sahip görevi istasyona ata, bu görevi $\{L_h, L_{h+1}\}$ listesinden çıkart. C^* listesi dolu ise C^* listesi içindeki en büyük I_i 'ye sahip görevi istasyona ata, bu görevi $\{L_h, L_{h+1}\}$ listesinden çıkart. İstasyona ilk görev ataması ise $m = \text{card}\{B\}$ hesapla, rassal olarak $RN \in \text{Unif}(1, m)$ sayısını üret, RN 'inci görevi istasyona ata, bu görevi $\{L_h, L_{h+1}\}$ listesinden çıkart. Eğer tüm görevler atanmamış ise Adım iv'e git.
- viii. Eğer bulunan istasyon sayısı en iyi çözüm istasyon sayısından az, veya bulunan istasyon sayısı en iyi çözüm istasyon sayısına eşit ve bulunan çözümün tamamlanmama maliyetleri toplam en iyi çözümün tamamlanmama maliyetleri toplamından küçük ise en iyi çözümü güncelle. Eğer $x=X$ ise dur; diğer durumda Adım ii'ye git.

6.3. Maliyete Yönelik Sezgisel İçin Test Problemi Sonuçları

Geliştirilen Maliyete Yönelik Sezgiselin (MYS)performans testi için Bölüm 5'de sunulan ve istasyon sayısının en küçüklenmesini amaçlayan seçim kriterleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Bölüm 6.2'de sunulan sezgiselin 7. adımındaki MYS yerine Bölüm 5'te sunulan kriterler adapte edilerek her bir kriterin çözüm güncellemede maliyeti de dikkate alması sağlanmıştır.

Seçilen maliyet fonksiyonuna göre görevin tamamlanmama maliyeti hesaplanırken hat dışı tamamlanma maliyeti olarak görev zamanının 1.4 katı alınmıştır. İşçilik maliyeti istasyon maliyetinin bir fonksiyonu olduğu için karşılaştırmalar ve değerlendirmeler doğrudan istasyon sayısı temel alınarak yapılmıştır.

Bölüm 5 kapsamında sunulan sezgisel yöntemlerin değerlendirilmesi için ele alınan 14 test problemi, maliyete yönelik geliştirilen sezgisel ile çözülmüş ve bulunan sonuçlar Ek-5'te verilmiştir. Bu test problemlerinin değerlendirilmesi için öncelikle

istasyon sayıları ve deneme sayıları ele alınmıştır. Bu amaçla Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 6. 1. MYS için istasyon sayılarına göre test problemi sonuçları

TP Kümesi	En iyi değeri Bulunan PS	K_{min} 'den Sapma Miktarı (İstasyon Sayısı)			
		1	2	3	3<
KB	48	125	31	10	2
OB	29	69	41	31	1
		K_{min} 'den Sapma Miktarı (İstasyon Sayısı)			
		1-5	6-10	11-15	15<
BB	4	280	118	51	78

Çizelge 6. 2. MYS için deneme sayılarına göre test problemi sonuçları

TP Kümesi	İterasyon				
	Enküçük	Enbüyük	Ort	Std. Sapma	Toplam
KB	1	55647	27030.133	9153.5292	6475172
OB	2	60129	29151.981	9001.4394	8870513
BB	1	81969	29467.222	9676.5713	36564644

İterasyon sayısı açısından Çizelge 6.2’de verilen sonuçlar Çizelge 5.3, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.7’teki sonuçlarla karşılaştırıldığında her 3 boyut içinde MYS’nin en düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür. MYS iterasyon sayısı açısından düşük değerlere sahip olmasına karşın istasyon sayısı açısından iyi olmayan bir performans sergilemiştir.

MYS kriterinin temel özelliği maliyetin en küçüklenmesine yönelik olmasıdır. 4 kriterin buldukları en iyi maliyet değerlerine göre karşılaştırması Çizelge 6.3 ve Ek-5’te verilmiştir. Çizelge 6.3, 14 test probleminden yalnızca 2’sini içermekte olup diğer 12 test problemine ait maliyetler Ek-5’te verilmektedir.

Çizelge 6. 3. Maliyete yönelik sezgisel test problemi sonuçları

	MYS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	İst.	Mal.	r	C*	cv
Merten_C12_85_d.txt	5	6	0,05	0,01	0,01	0,01
Merten_C12_85_r.txt	5	7	0,18	0,17	0,17	0,17
Merten_C12_85_y.txt	6	7	0,15	0,14	0,14	0,17
Merten_C12_90_d.txt	5	7	0,01	0,01	0,01	0,01
Merten_C12_90_r.txt	5	7	0,18	0,03	0,03	0,03
Merten_C12_90_y.txt	6	8	0,07	0,06	0,06	0,07
Merten_C12_95_d.txt	5	6	0,03	0,01	0,01	0,01
Merten_C12_95_r.txt	6	7	0,03	0,03	0,03	0,03
Merten_C12_95_y.txt	6	9	0,07	0,06	0,06	0,03
Merten_C14_85_d.txt	5	5	0,08	0,03	0,03	0,06
Merten_C14_85_r.txt	5	6	0,01	0,19	0,19	0,14
Merten_C14_85_y.txt	5	6	0,24	0,21	0,21	0,14
Merten_C14_90_d.txt	5	5	0,08	0,03	0,03	0,03
Merten_C14_90_r.txt	5	6	0,01	0,17	0,17	0,25
Merten_C14_90_y.txt	5	6	0,18	0,17	0,17	0,12
Merten_C14_95_d.txt	5	5	0,03	0,02	0,02	0,02
Merten_C14_95_r.txt	5	6	0,01	0,01	0,01	0,01
Merten_C14_95_y.txt	5	7	0,04	0,04	0,04	0,03
Merten_C16_85_d.txt	4	5	0,29	0,22	0,22	0,25
Merten_C16_85_r.txt	4	5	0,08	0,07	0,07	0,07
Merten_C16_85_y.txt	4	5	0,12	0,12	0,12	0,11
Merten_C16_90_d.txt	4	5	0	0	0	0
Merten_C16_90_r.txt	4	5	0,08	0,01	0,01	0,01
Merten_C16_90_y.txt	4	5	0,12	0,11	0,11	0,1
Merten_C16_95_d.txt	4	5	0	0	0	0
Merten_C16_95_r.txt	4	5	0,02	0,01	0,01	0,01
Merten_C16_95_y.txt	5	6	0,06	0,06	0,06	0,03
Merten_C20_85_d.txt	3	4	0,01	0,3	0,3	0
Merten_C20_85_r.txt	3	4	0,08	0,02	0,02	0,02
Merten_C20_85_y.txt	4	4	0,1	0,11	0,11	0,15
Merten_C20_90_d.txt	3	4	0,01	0,3	0,3	0
Merten_C20_90_r.txt	3	4	0,08	0,01	0,01	0,01
Merten_C20_90_y.txt	4	4	0,1	0,11	0,11	0,1
Merten_C20_95_d.txt	3	4	0,01	0	0	0
Merten_C20_95_r.txt	4	4	0,08	0,02	0,02	0,02
Merten_C20_95_y.txt	4	4	0,03	0,05	0,05	0,12

Çizelge 6.3. (Devam) Maliyete yönelik sezgisel test problemi sonuçları

	MYS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	İst.	Mal.	r	C*	cv
Jaeschke_C11_85_d.txt	7	8	0,23	0,16	0,16	0,16
Jaeschke_C11_85_r.txt	7	10	0,31	0,49	0,49	0,31
Jaeschke_C11_85_y.txt	7	10	0,82	0,82	0,82	0,82
Jaeschke_C11_90_d.txt	7	8	0,2	0,13	0,13	0,13
Jaeschke_C11_90_r.txt	7	10	0,31	0,15	0,15	0,31
Jaeschke_C11_90_y.txt	8	11	0,35	0,35	0,35	0,35
Jaeschke_C11_95_d.txt	7	8	0,11	0,11	0,11	0,11
Jaeschke_C11_95_r.txt	7	11	0,08	0,08	0,08	0,08
Jaeschke_C11_95_y.txt	8	13	0,08	0,08	0,08	0,08
Jaeschke_C13_85_d.txt	6	7	0,02	0,01	0,01	0,01
Jaeschke_C13_85_r.txt	6	8	0,19	0,48	0,48	0,19
Jaeschke_C13_85_y.txt	6	8	0,38	0,33	0,33	0,33
Jaeschke_C13_90_d.txt	6	7	0,02	0,01	0,01	0,01
Jaeschke_C13_90_r.txt	6	8	0,19	0,48	0,48	0,19
Jaeschke_C13_90_y.txt	6	9	0,29	0,39	0,39	0,39
Jaeschke_C13_95_d.txt	6	7	0,02	0,01	0,01	0,01
Jaeschke_C13_95_r.txt	6	8	0,09	0,08	0,08	0,08
Jaeschke_C13_95_y.txt	7	10	0,17	0,23	0,23	0,23
Jaeschke_C15_85_d.txt	5	6	0,22	0,1	0,1	0,1
Jaeschke_C15_85_r.txt	5	7	0,18	0,63	0,63	0,63
Jaeschke_C15_85_y.txt	6	7	0,46	0,43	0,43	0,43
Jaeschke_C15_90_d.txt	5	6	0,22	0,1	0,1	0,1
Jaeschke_C15_90_r.txt	5	7	0,17	0,08	0,08	0,1
Jaeschke_C15_90_y.txt	6	8	0,09	0,37	0,37	0,41
Jaeschke_C15_95_d.txt	5	6	0,15	0,08	0,08	0,08
Jaeschke_C15_95_r.txt	6	8	0,02	0,08	0,08	0,02
Jaeschke_C15_95_y.txt	6	8	0,09	0,28	0,28	0,28
Jaeschke_C17_85_d.txt	5	6	0,11	0,13	0,13	0,07
Jaeschke_C17_85_r.txt	5	6	0,38	0,55	0,55	0,55
Jaeschke_C17_85_y.txt	5	6	0,58	0,43	0,43	0,45
Jaeschke_C17_90_d.txt	5	6	0,11	0,07	0,07	0,17
Jaeschke_C17_90_r.txt	5	7	0,11	0,13	0,13	0,13
Jaeschke_C17_90_y.txt	5	7	0,34	0,33	0,33	0,33
Jaeschke_C17_95_d.txt	5	6	0,11	0,05	0,05	0,04
Jaeschke_C17_95_r.txt	5	7	0,1	0,13	0,13	0,13
Jaeschke_C17_95_y.txt	5	7	0,09	0,09	0,09	0,09
Jaeschke_C19_85_d.txt	4	5	0,51	0,02	0,02	0,02
Jaeschke_C19_85_r.txt	4	5	0,54	0,09	0,09	0,09
Jaeschke_C19_85_y.txt	4	5	0,61	0,37	0,37	0,37
Jaeschke_C19_90_d.txt	4	5	0,51	0,02	0,02	0,02
Jaeschke_C19_90_r.txt	4	5	0,54	0,08	0,08	0,09
Jaeschke_C19_90_y.txt	5	6	0,28	0,45	0,45	0,48
Jaeschke_C19_95_d.txt	4	5	0,09	0	0	0
Jaeschke_C19_95_r.txt	5	6	0,06	0,09	0,09	0,09
Jaeschke_C19_95_y.txt	5	6	0,18	0,1	0,1	0,11

Maliyetlerin kıyaslanmasında maliyete yönelik geliştirilen sezgisel (MYS) temel alınmış, MYS'den daha iyi, kötü ve eşit olan sonuçlar sınıflandırılmış ve problemlerin boyutlarına göre Çizelge 6.4 düzenlenmiştir.

Çizelge 6. 4. Maliyet karşılaştırma sonuçları

Problem Boyutu	Karşılaştırma Sonucu	r	C^*	CV
KB	İyi	91	91	85
	Eşit	23	23	30
	Kötü	102	102	101
OB	İyi	45	45	35
	Eşit	0	0	0
	Kötü	126	126	136
BB	İyi	246	258	229
	Eşit	0	0	0
	Kötü	285	273	302

Test problemi boyutlarına göre dört seçim kriterinin bulduğu maliyetler toplamı Çizelge 6.5'te sunulmuştur.

Çizelge 6. 5. Boyut ve kritere göre toplam maliyetler

Problem Boyutu	r	C^*	CV	MYS
KB	128,42	128,42	134,6	128,42
OB	1615757	1615745	1590803	1934974
BB	6777612	7000229	6443040	7698688

KB test problemleri için toplamda en iyi ve MYS'e göre daha etkin seçim kriteri olarak tamamen rassal seçim kriteri olan " r " öne çıkmaktadır. OB ve BB test problemleri için ise toplamda en iyi ve MYS'e göre daha etkin seçim kriteri olarak değişim katsayısını düşüren seçim kriteri olan " CV " öne çıkmaktadır. Fakat, BB test problemlerinde MYS diğer 3 seçim kriterinden daha fazla sayıda iyi sonuç bulmuştur. MYS kriterinin KB ve OB problemlerinde öne çıkamamasının sebebi, MYS kriterinin istasyona atanacak görevleri hat dışı tamamlanma maliyetlerine bağlı olarak seçmesidir. Görev sayısı arttıkça baştaki görevlerin hat dışı tamamlanma

maliyeti de artmaktadır. Bu nedenle maliyete dayalı seçim BB boyutlu problemlerinde daha etkindir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

MH'deki verimlilik artışı kapasiteyi arttıracak ve maliyeti azaltacak için oldukça önem arz etmektedir. Pratikteki bir çok üretim sistemi bir ya da daha fazla sayıda MH'den oluşmaktadır. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan başlıca iki durum vardır. Birincisi talebin yeterince yüksek olması nedeniyle tek bir hattın kapasitesinin talebi karşılayamaması durumunda ikinci bir hattın kurulması ihtiyacıdır. Bu durumda aynı ürün birden fazla özdeş hatta üretilir. İkincisi, her bir ürün talebinin hat kurmak için yeterli büyüklükte olması durumunda birden fazla benzer ürünün birbirinden ayrı MH'de üretilmesidir. Paralel MHD problemi ortaya atılmadan önceki MHD literatüründe, bu tür durumlar için, her bir hat ile ilgili bağımsız dengeler oluşturulmakta ve bu dengeler neticesinde üretim gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle Gökçen ve ark. [4] söz konusu durumları incelemiş, birden fazla özdeş ya da benzer hattın bulunması durumunda söz konusu hatların nasıl daha iyi dengelenebileceğini araştırmıştır.

Paralel MH en son ortaya atılan ve hat üzerinde kaynak kullanımını oldukça etkileyen montaj hattı tasarımlarından biridir. Etkin olmasının düşük stok seviyeleri, daha basit malzeme taşıma, üretim planlama kolaylığı, takım çalışması ve problem çözme kolaylığı, daha iyi kalite kontrol gibi birçok sebebi bulunmaktadır. Uygulamada özellikle de insan faktörü dikkate alındığında bu hatlarda yapılan görevlerin sürelerinin stokastik olması bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bu tezde problemin en temel şekli olan basit (her bir hatta tek modeli) SPMHD probleminin çözümü araştırılmıştır.

Çalışmada iki farklı amaç ele alınmıştır. Birinci amaç; Tip I olarak da ifade edilen, belirli bir çevrim zamanı ve görevlerin tamamlanmama olasılığı için istasyon sayısının en küçüklenmesidir. İkinci amaç, diğer bir ifade ile Tip II amaç fonksiyonu ise hatta tamamlanmayan işlerin hat dışında belirli bir maliyet ile tamamlanabileceği varsayımı altında, görevlerin tamamlanmama maliyetlerinin en küçüklenmesidir.

Çalışmanın ilk aşamasında Tip I amacı ile ilgilenilmiştir. Paralel MHD problemi için amaç fonksiyonuna yönelik ilk defa şans kısıtlı programlama tekniği kullanılarak 0-1 tamsayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Modelin boyut etkinliğinin artırılması amacıyla doğrusal dönüşüm ve doğrusal yaklaşım olarak adlandırılan iki teknik ile en iyi ve yaklaşık çözümü veren modeller oluşturulmuştur. 0-1 tamsayılı modellerin çözüme ulaşmada değişken sayısının olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle Paralel hatlar için görevlerin yapılabileceği istasyonlar için alt ve üst sınırların tespitine yönelik tanımlar yapılmıştır.

Yeni yapılan bir diğer tanım da stokastik Paralel MH için teorik en küçük istasyon sayısı tanımıdır. Teorik en küçük istasyon sayısı ile matematiksel modeller için değişken sayısı azaltılabilirken, sezgisel yöntemlerin etkinliğinin karşılaştırılabilmesi için bir alt sınır elde edilmiştir. Bu alt ve üst limitlerin kullanımı sayesinde değişken sayıları ortalama %60 oranında küçültülmüştür. Bunun yanısıra kısıt sayıları ise ortalama % 50 oranında azaltılmıştır. Literatürde küçük boyutlu diye ifade edilen 30 göreve kadarki problemler, Paralel MHD probleminde paralellik durumundan dolayı en az iki katına çıkmaktadır. Bundan dolayı problemler boyut bakımından çok hızlı genişlemekte ve orta boyutlu ve büyük boyutlu problemlerin en iyi çözümlerine ulaşılması güçleşmektedir. Ulaşılan sonuçlar incelendiğinde (11+10) göreve kadar olan problemler için en iyi sonuçlara, (30+28) göreve kadar olan problemler içinse yaklaşık sonuçlara ulaşılabilmiştir. Yaklaşık sonuçlar incelendiğinde doğrusal yaklaşım modeliyle de iyi sonuçlara ulaşılabilirdiği görülmüştür. Geliştirilen modellerin çözüme ulaşılabilirdiği üst sınırlar problemin NP-Zor yapısı nedeniyle büyük değildir. Bu nedenle daha büyük boyutlu problemler için sezgisel yöntem ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Tip I amacına yönelik modüler bir sezgisel uygulanmıştır. Daha sonra görev seçiminde farklı yanlılık yani görev seçim kriterleri içeren 3 farklı sezgisel elde edilmiştir. Görev seçim kriterleri belirlenirken daha önce geleneksel MHD ve U tipi MHD çalışmaları incelenmiş bu çalışmalarda uygulanan yöntemler Paralel hatların dengelerinin bulunması için uygulanmıştır. Geliştirilen sezgisel yöntemler, test problemleri üzerinde uygulanarak performansları karşılaştırılmıştır. r , C^* sezgiselleri

en iyi değeri bilinen 91 problemin 45'inde, CV sezgiseli ise 44'ünde en iyi sonuca ulaşmıştır.

Çalışmada incelenen Tip II amaç fonksiyonu yine Paralel hatlar için ilk defa ele alınan bir yaklaşım olmuştur. İlk aşamada geleneksel hatlarda kullanılan maliyet fonksiyonları incelenmiş, Paralel hatlar için uygun bir maliyet fonksiyonu seçilmiştir. Seçilen maliyet fonksiyonunun özelliği dikkate alınarak, Tip I amacındakine benzer nitelikte yeni bir kriter geliştirilmiştir. Geliştirilen sezgisel Tip I amacı için geliştirilen sezgiseller ile maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Maliyet tabanlı sezgiselin özellikle büyük boyutlu problemler için iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Sonuç olarak tez çalışması içerisinde ilk defa Stokastik Paralel MHD dengeleme problemi ele alınarak, Paralel MHD probleminin gerçek hayat problemlerine yakınlaştırılması sağlanmıştır. Talebin büyük boyutlu olduğu ve ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu gerçek hayat problemlerinde oluşturulan yaklaşım avantaj sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasından sonra Deterministik ve stokastik Paralel MHD problemlerine yönelik ileride yapılması gereken ya da düşünülen çalışmalar şu şekilde sıralanabilir:

- Büyük boyutlu problemlerin en iyi çözümlerinin bulunmasına yönelik eniyileme yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Karma modellenli Paralel MHD problemlerine stokastik bir yapı kazandırılması,
- Genetik Algoritma, Tabu Arama ve Tavlama Benzetimi gibi modern sezgisel yöntemlerin kullanılması yoluyla, en iyi sonucun garanti olmadığı büyük boyutlu stokastik Paralel montaj hattı problemlerinin dengelenmesi,
- Stokastik Paralel MHD problemi içerisinde ergonomik faktörlerin göz önünde bulundurulması yoluyla operatör verimliliklerinin artırılması.

KAYNAKLAR

- [1] Tanyaş, M., Baskak, M., “Üretim Planlama ve Kontrol”, *İrfan Yayıncılık*, 1. Baskı, İstanbul, 23-52 (2003).
- [2] Monden, Y., “Toyota Production System: Practical Approach To Production Management”, *Industrial Engineering and Management Pres*, Institute Of Industrial Engineers, Atlanta, 54-70 (1983).
- [3] Scholl, A., “Balancing and Sequencing Of Assembly Lines”, *Physica Verlag*, Heidelberg, New York, 9-36 (1999).
- [4] Gökçen, H., Ağpak, K., Benzer, R., “Balancing of Parallel Assembly Lines”, *International Journal of Production Economics*, 103: 600-609 (2006).
- [5] İnternet: Türk Dil Kurumu, “Çevrimiçi Büyük Türkçe sözlük” <http://tdkterim.gov.tr/bts/?kategori=veritbn&kelimesec=325440> (2009).
- [6] Gökçen, H., “Karışık Modelli MHD Problemleri İçin Yeni Modeller”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-32 (1994).
- [7] Wild, R., “Mass-Production Management”, *John Wiley & Sons Inc.*, London, 6-24 (1972).
- [8] Bryton, B., “Balancing of a Continuous Production Line”, Yüksek Lisans tezi, *Northwestern University*, Northwestern, 4-9 (1954).
- [9] Acar, N., Eştas, S., “ Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları”, *MPM Yayınları*, Ankara, 9-32 (1991).
- [10] Askin, R.G., Stanridge, C.R., “Modelling and Analysis of Manufacturing Systems”, *John Wiley & Sons Inc.*, USA, 24-52 (1993).
- [11] Benzer, R. “Paralel MHD Problemi İçin Yeni Modeller”, Doktora tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 43-49 (2005).
- [12] Ghosh, S. ,Gagnon, J. “A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems”, *International Journal of Production Research*, 27 (4): 637-670 (1989).
- [13] Scholl, A., Becker, C. , “State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing”, *European Journal of Operational Research*, 168 (3): 666-693 (2006).
- [14] Miltenburg, G. J., Wijngaard, J., “The U-line balancing problem”, *Management Science*, 40: 1378-1388 (1994).

- [15] Ağpak K., “Tek Modelli Basit U Tipi MHD Problemleri İçin Bir Sezgisel Yöntem”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 26-34 (2001).
- [16] Benzer, R., Gökçen, H., Çetinyokuş, T., Çerçioğlu, H., “A network model for parallel line balancing problem”, *Mathematical Problems In Engineering*, Vol. 2007, Article Id 10106, 12 Pages, Dor:10.1155/2007/10106 (2007).
- [17] Gökçen, H., Baykoç, Ö. F., “A new line remedial policy for the paced lines with stochastic task times”, *International Journal of Production Economics*, 58: 191-197 (1999).
- [18] Moodie, C. L., Young H. H., “A heuristic method of assembly line balancing for assumptions of constant or variable work element times”, *Journal of Industrial Engineering*, 16 (1): 23-29 (1965).
- [19] Kottas, J. F., Lau, H. S., “A cost oriented approach to stochastic line balancing”, *AIIE Transactions*, 5 (2): 164-171, (1973).
- [20] Kottas, J. F., Lau, H. S., “A total operating cost model for paced lines with stochastic task times”, *AIIE Transactions*, 8 (2): 234-240 (1976).
- [21] Kottas, J. F., Lau, H. S., “A stochastic line balancing procedure”, *International Journal of Production Research*, 9 (2): 177-193, (1981).
- [22] Suresh, G., Sahu, S., “Stochastic assembly line balancing using simulated annealing”, *International Journal of Production Research*, 32 (8): 1801-1810 (1994).
- [23] Shin, D., “An efficient heuristic for solving stochastic assembly line balancing problems”, *Computers and Industrial Engineering*, 18 (3): 285-295 (1990).
- [24] Lau, H., and Shtub, A., “An exploratory study on stopping a paced line when incompletions occur”, *IIE Transactions*, 19 (4): 463-467 (1987).
- [25] Ağpak, K., “Tek Modelli Stokastik U Tipi MHD Problemi için Yeni Modeller” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 22-77 (2004).
- [26] Akagi, F., Osaki, H., Kikuchi, S., “A method for assembly line balancing with more than one worker in each station”, *International Journal of Production Research*, 21: 755-770 (1983).
- [27] Pinto, P., Dannenbring, D.G., Khumawala, B.M., “A branch and bound algorithm for assembly line balancing with parallelling”, *International Journal of Production Research*, 13: 183-196 (1975).

- [28] Bukchin, J., Rubinovitz, J., "A weighted approach for assembly line design with station paralleling and equipment selection", *IIE Transactions*, 35(1) :73-85 (2002).
- [29] Bard, J.F., "Assembly line balancing with parallel workstations and dead time", *International Journal of Production Research*, 27(6): 1005-1018 (1989).
- [30] Bukchin, J., Tzur, M., "Design of flexible assembly line to minimize equipment cost", *IIE Transactions*, 32(7): 585-598 (2000).
- [31] Baybars İ., "A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem", *Management Science* , 32 (8): 909-931 (1986).
- [32] Erel, E., Sarin, S. C., "A survey of the assembly line balancing procedures", *Production Planning and Control*, 9 (5): 414-434 (1998).
- [33] Becker C., Scholl A., "A survey On Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing", *European Journal Of Operational Research*, 168: 694-715 (2006).
- [34] Mansoor, E. M., Ben-Tuvia, S., "Optimizing balanced assembly lines", *Journal of Industrial Engineering*, 17 (1): 126-132 (1966).
- [35] Reeve, N. R., Thomas, W. H. "Balancing stochastic assembly lines", *AIIE Transactions*, 5 (3): 223-229 (1973).
- [36] Sphicas, G. P., Silverman, , F. P., "Deterministic equivalents for stochastic assembly line balancing", *AIIE Transactions*, 8 (2): 280-282 (1976).
- [37] Kao, E. P. C., "A preference order dynamic program for stochastic assembly line balancing", *Management Science*, 22 (10): 1097-1104 (1976).
- [38] Kao, E. P. C., "Computational experience with a stochastic assembly line balancing algorithm", *Computers and Operations Research*, 6 (2):79-86 (1979).
- [39] Raouf, A., Tsui, C. L., "A new method for assembly line balancing having stochastic work elements", *Computers and Industrial Engineering*, 6 (2): 131-148 (1982).
- [40] Shtub, A., "Effect Of Incompletion Cost On Line Balancing With Multiple Manning Of Work Stations", *International Journal of Production Research*, 22(2): 235-245 (1984).

- [41] Silverman, F. N., Carter, J. C., "A cost-based methodology for stochastic line balancing with intermittent line stoppages", *Management Science*, 32 (5): 455-463 (1986).
- [42] Henig, M. I., "Extensions of the dynamic programming method in the deterministic and stochastic assembly line balancing problems", *Computers and Operations Research*, 13 (4): 443-449 (1986).
- [43] Sarin, S. C., Erel E., "Development of cost model for the single-model stochastic assembly line balancing problem", *International Journal of Production Research*, 28 (7): 1263-1282 (1990).
- [44] Nkasu, M. M., Leung, K. H., "A stochastic approach to assembly line balancing", *International Journal of Production Research*, 33 (4): 975-991 (1995).
- [45] McMullen, P.R., Frazier, G.V., "Heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations", *International Journal of Production Economics*, 51(3), 177-190 (1997).
- [46] Sarin, S. C., Erel E., Dar-El E. M., "A methodology solving single-model, stochastic assembly line balancing problem", *International Journal of Management Science*, 27 (5): 525-535 (1999).
- [47] Liu, S.B., Ong, H.L., Huang, H.C., "A bidirectional heuristic for stochastic assembly line balancing type II problem", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(1-2): 71-77 (2005).
- [48] Gamberini R., Grassi A., Rimini B., "A new multi-objective heuristic algorithm for solving the stochastic assembly line re-balancing problem", *International Journal of Production Economics*, 102(2): 226-243 (2006).
- [49] Miltenburg, J., "U-shaped production lines: a review of theory and practice", *International Journal of Production Economics*, 70: 201-214 (2001).
- [50] Ohno, K., Nakade, K., Shantikumar, J. G., "Bounds and approximations for cycle times of a U-shaped production line", *Operations Research Letters*, 21: 191-200 (1997).
- [51] Nakade, K., Ohno, K., "Analysis and optimization of a U-shaped production line", *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 40 (1): 90-104 (1997).
- [52] Nakade, K., Ohno, K., "An optimal worker allocation problem for a U-shaped production line", *International Journal of Production Economics*, 60-61: 353-358 (1999).

- [53] Sparling, D., Miltenburg, J., "The mixed-model U-line balancing problem", *International Journal of Production Research*, 36 (2): 485-501 (1998).
- [54] Chand, S., Zeng T., "Comparison of U-line and straight –line performances under stochastic task time", *Manufacturing and Service Operations Management*, 3 (2): 138-150 (2001).
- [55] Guerriero, F., Miltenburg, J., "The stochastic U line balancing", *Naval Research Logistics*, 50: 31-57 (2003).
- [56] Erel, E., Sabuncuoglu, I., Sekerci, H., "Stochastic assembly line balancing using beam search", *International Journal of Production Research*, 43(7): 1411-1426 (2005).
- [57] Chiang, W.C., Urban, T. L., "The stochastic U-line balancing problem: A heuristic procedure", *European Journal of Operational Research*, 175(3): 1767-1781 (2006).
- [58] Urban, T. L., Chiang, W.C., "An optimal piecewise-linear program for the U-line balancing problem with stochastic task times", *European Journal of Operational Research*, 168(3): 771-782 (2006).
- [59] Ağpak K., Gökçen H., "A chance constraint approach to stochastic line balancing", *European Journal of Operational Research*, 180: 1098-1115 (2007).
- [60] Süer, G.A., Dagli C., "A knowledge-based system for selection of resource allocation rules and algorithms, in Handbook of expert system applications in manufacturing"; Structures and rules, (eds. A.Mital and S.Anand), *Chapman and Hall*, 108-147 (1994).
- [61] Süer, G.A., "Designing parallel assembly lines", *Computers and Industrial Engineering*, 35(3-4): 467-470 (1998).
- [62] Freeman, D.R., Jucker, J.V., "The line balancing problem", *Journal of Industrial Engineering*, 18: 361-364 (1967).
- [63] Buxey, G.M., "Assembly line balancing with multiple stations", *Management Science*, 20(6): 1010-1021 (1974).
- [64] Johnson, R.V., "A branch and bound algorithm for assembly line balancing with formulation irregularities", *Management Science*, 29(11): 1309-1324 (1983).
- [65] Sarker, B.R., Shanthikumar, J.G., "A generalized approach for serial or parallel line balancing", *International Journal of Production Research*, 21(1): 109-133 (1983).

- [66] Reiter, P., "On assembly line balancing problem", *Operation Research*, 17(4): 685-700 (1969).
- [67] Simaria, A.S., Vilarinho, P. M., "The simple assembly line balancing problem with parallel workstations - A simulated annealing approach", *International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice*, 8(3): 230-240 (2001).
- [68] Askin, R.G., Zhou, M., "Parallel station heuristic for the mixed-model production line balancing problem", *International Journal of Production Research*, 35 (11): 3095-3105 (1997).
- [69] Vilarinho, P.M., Simaria, A.S., "A two-stage heuristic method for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations." *International Journal of Production Research*, 40 (6): 1405–1420 (2002).
- [70] Charnes, A., Cooper, W. W., "Chance-constrained programming", *Management Science*, 6: 73-79 (1959).
- [71] Charnes, A., Cooper, W. W., "Chance constraints and normal deviates", *The American Statistical Association Journal*, 57: 134-148 (1962).
- [72] Charnes, A., Cooper, W. W., "Deterministic equivalents for optimizing and satisficing under chance constraints", *Operations Research*, 11: 18-39 (1963).
- [73] Gökçen, H., Erel E., "Binary Integer Formulation For Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem", *Computers and Industrial Engineering*, 34(2): 451-461 (1998).
- [74] Arcus, A. L., "COMSOAL: A computer method of sequencing operations for assembly lines", *International Journal of Production Research*, 4 (4): 259-277 (1966).
- [75] Brady, W., Drury, C.G., "The dependence of the coefficient of variation of a work time distribution of number of elements in the work task", *International Journal of Production Research*, 7(4): 311-321 (1969).

EKLER

Ek-1. Test Problemi Üretimi

Yapılan çalışmalarda geliştirilen algoritma ve modellerin, performans ve davranış analizi için test problemi gerekmektedir. Literatürde bu problem daha önce ele alınmadığından, şu anda Paralel MHD problemlerindeki stokastik durumlar için belirlenmiş bir test problemi kümesi mevcut değildir. Literatüre bu problem için kullanılabilecek bir test problemi seti kazandırabilmek amacıyla, Gökçen ve ark. [4] çalışmasında ele alınan test problemlerine stokastik bir yapı kazandırılmıştır.

Bu test problemi seti oluşturulurken Guerriero ve Miltenburg'un [50] çalışması ele alınmıştır. Guerriero ve Miltenburg [50] çalışmalarında test problemi oluşturulması amacıyla öncelikle 3 farklı varyans tipi ve bu varyansların değişim katsayılarının (CV-coefficient of variation) alabileceği alt ve üst sınır değerlerini oluşturmuşlardır. Kullanılan CV değeri; istatistik bilimi içerisinde sıkça karşılaşılan ve verilerin değişkenliğini standart sapmanın ortalamaya oranlanması yoluyla normalize eden bir katsayıdır. Belirlenen varyans tipleri düşük varyans ($0 < CV < 0.3$), yüksek varyans ($0.3 < CV < 0.6$) ve rassal varyanstır ($0 < CV < 0.6$). İkinci aşamada ise bu aralıklarda rassal sayılar üretilerek ortalama zaman değerleri ile çarpılmış ve sonuç olarak her varyans tipi için uygun varyans değerleri oluşturulmuştur. Tez çalışmamız içerisinde Gökçen ve ark. [4]'nin Paralel MHD problemi üzerinde geliştirmiş oldukları deterministik 14 test probleminin üzerinden geliştirilen stokastik test problemleri kullanılmıştır. Bu problemlerin görev zamanları ortalama görev zamanları olarak kabul edilmiş, belirlenen varyans tipine göre sınır değerleri arasından Düzgün (Uniform) dağılıma uygun olarak rassal sayılar üretilerek her bir görev için ayrı CV değerleri üretilmiştir. Bu değerler ortalama görev zamanları ile çarpılarak her bir görevin varyansı belirlenmiştir. Çevrim zamanı belirlenirken de her bir problem için yarı zamanlar belirlenerek bunlardan en büyük olanı içine alacak şekilde min çevrim zamanı oluşturulmuştur. Böylelikle deterministik test problemi kümesi stokastik durum için kullanılabilir bir yapıya dönüştürülmüştür. Örnek olarak Jackson problemi için üç varyans tipi için üretilen varyanslar ve ortalama görev zamanları Çizelge Ek-1.1'de verilmiştir.

Ek-1. (Devam) Test Problemi Üretimi

Çizelge 1.1. Jackson Problemi için ortalama görev zamanı ve düşük, yüksek, rassal varyans

Hat I					Hat II				
Görev	Ort. Zaman	Düşük Varyans	Yüksek Varyans	Rassal Varyans	Görev	Ort. Zaman	Düşük Varyans	Yüksek Varyans	Rassal Varyans
1	6	0,183764	3,310368	0,748031	1	6	0,099575	3,4821	1,339209
2	2	0,508486	0,95781	0,446484	2	2	0,078838	0,787706	1,116762
3	5	1,249975	2,196652	2,768613	3	5	0,062226	2,877981	1,576517
4	7	1,969709	3,683178	3,035012	4	7	0,253238	2,8888	0,875847
5	1	0,127305	0,535137	0,185323	5	1	0,01057	0,454501	0,42475
6	2	0,326339	0,828745	0,037726	6	2	0,002401	0,724667	0,916544
7	3	0,618933	1,247788	1,695438	7	3	0,205345	1,370666	0,736046
8	6	0,965384	2,814234	3,441796	8	6	0,287026	3,363236	0,864926
9	5	1,04519	2,347235	2,880666	9	5	0,003826	2,271943	0,886021
10	5	0,469084	2,212982	1,405648	10	5	0,143367	1,949295	2,603039
11	4	0,880577	2,257445	1,841596					

Ek-2. Değişken ve Kısıt Sayısı Tabloları

Çizelge 2.1. Jackson problemi Matematiksel model değişken ve kısıt sayıları

Görev Sayısı (Hat I+HatII)	Teorik Min. İst. Sayısı	DYM		DDM	
		Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı
Jackson_C14_85_d.txt	(11+10)	7	463	67	2993
Jackson_C14_85_r.txt		7	463	67	2993
Jackson_C14_85_y.txt		7	463	67	2993
Jackson_C14_90_d.txt		7	463	67	2993
Jackson_C14_90_r.txt		8	463	67	3741
Jackson_C14_90_y.txt		8	463	67	3741
Jackson_C14_95_d.txt		8	463	67	4489
Jackson_C14_95_r.txt		8	463	67	4489
Jackson_C14_95_y.txt		8	463	67	4489
Jackson_C16_85_d.txt		7	463	67	3367
Jackson_C16_85_r.txt		7	463	67	3367
Jackson_C16_85_y.txt		7	463	67	3367
Jackson_C16_90_d.txt		7	463	67	3741
Jackson_C16_90_r.txt		7	463	67	3741
Jackson_C16_90_y.txt		7	463	67	3741
Jackson_C16_95_d.txt		7	463	67	4489
Jackson_C16_95_r.txt		7	463	67	4489
Jackson_C16_95_y.txt		7	463	67	4489
Jackson_C19_85_d.txt	(11+10)	6	463	67	2619
Jackson_C19_85_r.txt		6	463	67	2619
Jackson_C19_85_y.txt		6	463	67	2619
Jackson_C19_90_d.txt		6	463	67	2619
Jackson_C19_90_r.txt		6	463	67	2619
Jackson_C19_90_y.txt		6	463	67	2619
Jackson_C19_95_d.txt		6	463	67	2993
Jackson_C19_95_r.txt		6	463	67	2993
Jackson_C19_95_y.txt		6	463	67	2993
Jackson_C21_85_d.txt		5	463	67	2619
Jackson_C21_85_r.txt	(11+10)	5	463	67	2619
Jackson_C21_85_y.txt		5	463	67	2619
Jackson_C21_90_d.txt		5	463	67	2619
Jackson_C21_90_r.txt		5	463	67	2619

Ek-2. (Devam) Değişken ve Kısıt Sayısı Tabloları

Çizelge 2.1. (Devam) Jackson problemi Matematiksel model değişken ve kısıt sayıları

	Görev Sayısı (Hat I+HatII)	Teorik Min. İst. Sayısı	DYM		DDM	
			Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı
Jackson_C21_90_y.txt		5	463	67	2619	4988
Jackson_C21_95_d.txt		6	463	67	2993	5694
Jackson_C21_95_r.txt		6	463	67	2993	5694
Jackson_C21_95_y.txt		6	463	67	2993	5694
Jackson_C25_85_d.txt		4	463	67	1871	3576
Jackson_C25_85_r.txt		4	463	67	1871	3576
Jackson_C25_85_y.txt		4	463	67	1871	3576
Jackson_C25_90_d.txt		4	463	67	1871	3576
Jackson_C25_90_r.txt		4	463	67	2245	4282
Jackson_C25_90_y.txt		4	463	67	1871	3576
Jackson_C25_95_d.txt		4	463	67	1871	3576
Jackson_C25_95_r.txt		4	463	67	1871	3576
Jackson_C25_95_y.txt		4	463	67	1871	3576

Ek-2. (Devam) Değişken ve Kısıt Sayısı Tabloları

Çizelge 2.2. Roszieng problemi Matematiksel model değişken ve kısıt sayıları

Görev Sayısı (Hat I+HatII)	Teorik Min. Ist. Sayısı	DYM		DDM	
		Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı
Roszieng_C30_85_d.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C30_85_r.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C30_85_y.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C30_90_d.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C30_90_r.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C30_90_y.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C30_95_d.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C30_95_r.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C30_95_y.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_85_d.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_85_r.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_85_y.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_90_d.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_90_r.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_90_y.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_95_d.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_95_r.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C32_95_y.txt	9	2451	160	19001	37131
Roszieng_C33_85_d.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C33_85_r.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C33_85_y.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C33_90_d.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C33_90_r.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C33_90_y.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C33_95_d.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C33_95_r.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C33_95_y.txt	9	2451	160	17263	35417
Roszieng_C38_85_d.txt	7	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_85_r.txt	7	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_85_y.txt	7	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_90_d.txt	7	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_90_r.txt	7	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_90_y.txt	7	2451	160	16452	32148

Ek-2. (Devam) Değişken ve Kısıt Sayısı Tabloları

Çizelge 2.2. (Devam) Roszieng problemi Matematiksel model değişken ve kısıt sayıları

	Görev Sayısı (Hat I+HatII)		DYM		DDM	
		Teorik Min. Ist. Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı
Roszieng_C38_95_d.txt		8	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_95_r.txt		8	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_95_r.txt		8	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_95_y.txt		8	2451	160	16452	32148
Roszieng_C38_95_y.txt		8	2451	160	16452	32148
Roszieng_C46_85_d.txt		6	2451	160	13301	26025
Roszieng_C46_85_r.txt		6	2451	160	13301	26025
Roszieng_C46_85_y.txt		6	2451	160	13301	26025
Roszieng_C46_90_d.txt		6	2451	160	13301	26025
Roszieng_C46_90_r.txt		6	2451	160	13301	26025
Roszieng_C46_90_y.txt		6	2451	160	13301	26025
Roszieng_C46_95_d.txt		6	2451	160	13301	26025
Roszieng_C46_95_r.txt		6	2451	160	13301	26025
Roszieng_C46_95_y.txt		6	2451	160	13301	26025

Ek-3 DDM ve DYM için test problemi sonuçları

Çizelge 3.1. Jackson Problemi Şans kısıtlı Matematiksel Model sonuçları

	Görev Sayısı (HatI+HatII)	Kmin	DYM			DDM		
			Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre	Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre
Jackson_C14_85_d.txt		7	8	730	0.34	8*	3.52693e+07	72000.1
Jackson_C14_85_r.txt		7	8	730	0.22	8*	3.48786e+07	72000.2
Jackson_C14_85_y.txt		7	8	730	0.25	8*	3.51757e+07	72000.1
Jackson_C14_90_d.txt		7	8	586543	40.39	8*	3.60953e+07	72000.2
Jackson_C14_90_r.txt		8	10	3.16605e+06	224.95	9*	3.63292e+07	72000.4
Jackson_C14_90_y.txt		8	10	3.16605e+06	223.3	9*	3.83338e+07	72000.1
Jackson_C14_95_d.txt		8	12	1141	0.14	10*	3.05883e+07	72000.1
Jackson_C14_95_r.txt		8	12	1141	0.14	10*	3.05879e+07	72000.1
Jackson_C14_95_y.txt		8	12	1141	0.14	10*	3.05888e+07	72000.1
Jackson_C16_85_d.txt		7	9	1190	0.23	8*	3.44132e+07	72000.1
Jackson_C16_85_r.txt		7	9	1190	0.22	8*	3.44055e+07	72000.3
Jackson_C16_85_y.txt		7	9	1190	0.2	8*	3.44181e+07	72000.1
Jackson_C16_90_d.txt		7	10	111275	6.81	10*	4.00727e+07	72000.1
Jackson_C16_90_r.txt		7	10	111275	6.89	10*	4.00617e+07	72000.1
Jackson_C16_90_y.txt		7	10	111275	6.91	10*	4.0071e+07	72000.2
Jackson_C16_95_d.txt		7	12	1865	0.22	11*	3.37391e+07	72000.1
Jackson_C16_95_r.txt		7	12	1865	0.22	11*	3.37471e+07	72000.1
Jackson_C16_95_y.txt		7	12	1865	0.28	11*	3.37962e+07	72000.3
Jackson_C19_85_d.txt		6	7	540	0.11	6	855092	494.97
Jackson_C19_85_r.txt		6	7	540	0.11	6	855092	495.23
Jackson_C19_85_y.txt		6	7	540	0.11	6	855092	494.92
Jackson_C19_90_d.txt		6	7	31812	2.02	6	565937	340.42
Jackson_C19_90_r.txt		6	7	31812	2.02	6	565937	340.58
Jackson_C19_90_y.txt		6	7	31812	2.02	6	565937	340.53
Jackson_C19_95_d.txt		6	8	4335	0.52	7*	3.80396e+07	72000.1
Jackson_C19_95_r.txt		6	8	4335	0.5	7*	3.80367e+07	72000.1
Jackson_C19_95_y.txt		6	8	4335	0.5	7*	3.80363e+07	72000.1
Jackson_C21_85_d.txt		5	7	773	0.11	6*	4.42995e+07	72000.2
Jackson_C21_85_r.txt		5	7	773	0.11	6*	4.42979e+07	72000.3
Jackson_C21_85_y.txt		5	7	773	0.13	6*	4.42995e+07	72000.2
Jackson_C21_90_d.txt		5	7	1354	0.14	6*	4.08225e+07	72000.2
Jackson_C21_90_r.txt		5	7	1354	0.14	6*	4.08187e+07	72000.1

Ek-3 (Devam) DDM ve DYM için test problemi sonuçları

Çizelge 3.1. (Devam) Jackson Problemi Şans kısıtlı Matematiksel Model sonuçları

	Görev Sayısı (HatI+HatII)	Kmin	DYM			DDM		
			Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre	Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre
Jackson_C21_90_y.txt		5	7	1354	0.14	6*	4.08173e+07	72000.2
Jackson_C21_95_d.txt		6	8	107152	4.63	7*	4.14173e+07	72000.2
Jackson_C21_95_r.txt		6	8	107152	4.63	7*	4.14195e+07	72000.1
Jackson_C21_95_y.txt		6	8	107152	4.64	7*	4.13582e+07	72000.1
Jackson_C25_85_d.txt		4	5	396	0.13	4	1386	1.22
Jackson_C25_85_r.txt		4	5	396	0.09	4	1386	1.19
Jackson_C25_85_y.txt		4	5	396	0.11	4	1386	1.2
Jackson_C25_90_d.txt		4	5	442	0.11	4	6374	10.77
Jackson_C25_90_r.txt		4	6	577	0.11	5*	2.41391e+07	72009
Jackson_C25_90_y.txt		4	5	400	0.09	4	367668	197.81
Jackson_C25_95_d.txt		4	5	392	0.11	5	1.8371e+07	33074.8
Jackson_C25_95_r.txt		4	5	392	0.11	5	1.8371e+07	34888.2
Jackson_C25_95_y.txt		4	5	392	0.11	5	1.8371e+07	32970.8

Ek-3 (Devam) DDM ve DYM için test problemi sonuçları

Çizelge 3.2. Roszieng Problemi Şans kısıtlı Matematiksel Model sonuçları

Görev Sayısı (HatI+HatII)	Kmin	DYM			DDM		
		Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre	Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre
Roszieng_C30_85_d.txt	9	10	5136	2.25	10	1.6172e+07	72000.4
Roszieng_C30_85_r.txt	9	10	5136	2.16	10	1.61805e+07	72000.7
Roszieng_C30_85_y.txt	9	10	5136	2.17	10	1.61728e+07	72000.6
Roszieng_C30_90_d.txt	9	10	32346	6.77	10	1.59072e+07	72000.5
Roszieng_C30_90_r.txt	9	12	2.41455e+07	6698.11	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C30_90_y.txt	9	12	2.41455e+07	6734.28	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C30_95_d.txt	9	13	14421	3.88	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C30_95_r.txt	9	13	14421	3.88	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C30_95_y.txt	9	13	14421	3.78	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_85_d.txt	9	13	0	0	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_85_r.txt	9	13	0	0	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_85_y.txt	9	13	0	0	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_90_d.txt	9	13	369532	51.78	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_90_r.txt	9	13	369532	52	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_90_y.txt	9	13	369532	51.84	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_95_d.txt	9	0	9.58906e+299	72001	1.4854e-313	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_95_r.txt	9	0	9.58906e+299	72001	1.6976e-313	9.58906e+299	0
Roszieng_C32_95_y.txt	9	15	0	72000	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_85_d.txt	9	12	0	72004	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_85_r.txt	9	12	0	72001	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_85_y.txt	9	12	0	72006	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_90_d.txt	9	13	5028	1.81	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_90_r.txt	9	13	5028	1.77	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_90_y.txt	9	13	5028	1.81	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_95_d.txt	9	0	9.58906e+299	72000	1.4854e-313	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_95_r.txt	9	0	9.58906e+299	72000	1.6976e-313	9.58906e+299	0
Roszieng_C33_95_y.txt	9	17	0	72000	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_85_d.txt	7	9	1947	1.14	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_85_r.txt	7	9	1947	1.14	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_85_y.txt	7	9	1947	1.14	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_90_d.txt	7	9	3.2615e+06	439.66	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_90_r.txt	7	9	3.2615e+06	439.17	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_90_y.txt	7	9	3.2615e+06	428.59	0	9.58906e+299	0

Ek-3 (Devam) DDM ve DYM için test problemi sonuçları

Çizelge 3.2. (Devam) Roszieng Problemi Şans kısıtlı Matematiksel Model sonuçları

Görev Sayısı (HatI+HatII)	Kmin	DYM			DDM		
		Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre	Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre
Roszieng_C38_95_d.txt	8	10	641217	148.86	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_95_r.txt	8	10	641217	154.39	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_95_r.txt	8	13	0	0	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_95_y.txt	8	10	641217	148.81	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C38_95_y.txt	8	12	9.71379e+07	23467.1	0	9.58906e+299	0
Roszieng_C46_85_d.txt	6	7	5559	1.53	7	1.63765e+07	72000.7
Roszieng_C46_85_r.txt	6	7	5559	1.55	7	1.63911e+07	72000.5
Roszieng_C46_85_y.txt	6	7	5559	1.56	7	1.61567e+07	72000.5
Roszieng_C46_90_d.txt	6	7	3.04756e+07	6769.09	7	1.55035e+07	72000.6
Roszieng_C46_90_r.txt	6	7	3.04756e+07	6752.97	7	1.55641e+07	72000.2
Roszieng_C46_90_y.txt	6	7	3.04756e+07	6687.14	7	1.57894e+07	72000.3
Roszieng_C46_95_d.txt	6	7	3704	1.42	7	1.52754e+07	72000.3
Roszieng_C46_95_r.txt	6	7	3704	1.41	7	1.52497e+07	72000.4
Roszieng_C46_95_y.txt	6	7	3704	1.42	7	1.48849e+07	71845.4

Ek-3 (Devam) DDM ve DYM için test problemi sonuçları

Çizelge 3.3. Sawyer Problemi Şans kısıtlı Matematiksel Model sonuçları

	Kmin	DYM			DDM		
		Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre	Sonuç	İterasyon Sayısı	Süre
Sawyer_C46_85_d.txt	15	16	1.87236e+07	4329.59	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C46_85_r.txt	15	17	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C46_85_y.txt	15	0	1.6417e+269	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C46_90_d.txt	15	24	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C46_90_r.txt	15	24	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C46_90_y.txt	15	24	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C46_95_d.txt	16	26	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C46_95_r.txt	16	26	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C46_95_y.txt	16	26	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_85_d.txt	11	15	2.00418e+07	7390.05	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_85_r.txt	11	15	2.00418e+07	5312.47	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_85_y.txt	11	15	2.00418e+07	7700.59	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_90_d.txt	11	16	15989	7.27	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_90_r.txt	11	16	15989	10.3	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_90_y.txt	11	16	15989	7.22	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_95_d.txt	11	18	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_95_r.txt	11	18	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C66_95_y.txt	11	18	0	0	0*	1.6417e+269	0
Sawyer_C99_85_d.txt	7	8	3270	2.42	7	698225	3962.31
Sawyer_C99_85_r.txt	7	8	3270	1.95	7	698225	3958.67
Sawyer_C99_85_y.txt	7	8	3270	1.94	7	698225	3959.81
Sawyer_C99_90_d.txt	7	8	2646	1.38	0*	9.58906e+299	0
Sawyer_C99_90_r.txt	7	8	1435	0.98	0*	9.58906e+299	0
Sawyer_C99_90_y.txt	7	8	1435	0.98	0*	9.58906e+299	0
Sawyer_C99_95_d.txt	7	8	617994	100.55	0*	9.58906e+299	0
Sawyer_C99_95_r.txt	7	8	617994	100.53	0*	9.58906e+299	0
Sawyer_C99_95_y.txt	7	8	617994	100.45	0*	9.58906e+299	0

Ek-4. “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.1. Jackson Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	Kmin	r	C*	CV	r		C*		CV		r	C*		Min	Max	CV
					Min	Max	Min	Max	Min	Max		Min	Max			
Jackson_C14_85_d.txt	7	8	8	8	20356	28228	20356	28228	20356	28228	30,063	67,328	39,718	70,578	36,985	62,313
Jackson_C14_85_r.txt	7	9	9	9	20940	29467	20940	29467	20153	20529	23,718	61,141	49,344	72	37,547	52,234
Jackson_C14_85_y.txt	8	10	10	10	22462	33178	22462	33178	20386	24059	27,531	41,844	40,75	59,219	26,453	42,312
Jackson_C14_90_d.txt	7	8	8	8	20356	21597	20356	21597	20356	26985	25,5	50	40,188	52,094	38,969	58,219
Jackson_C14_90_r.txt	8	9	9	9	20013	26397	20013	26397	20010	21545	41,109	56,485	42,64	57,015	37,157	42,281
Jackson_C14_90_y.txt	8	11	11	11	21680	31932	21680	31932	21680	30319	32,844	52,312	40,203	58,266	41,656	54,578
Jackson_C14_95_d.txt	7	9	9	9	20599	26460	20599	26460	20599	28677	37,968	55,563	40,797	56,765	36,297	51,75
Jackson_C14_95_r.txt	8	10	10	10	20067	20221	20067	20221	20147	21203	36,75	50,094	38,985	51,031	35,141	43,672
Jackson_C14_95_y.txt	8	13	13	13	22534	46443	22534	46443	24453	53773	43,375	70,235	42,813	88,421	49,235	109,688
Jackson_C16_85_d.txt	6	7	7	7	20022	21994	20022	21994	20000	20075	34,812	43,36	36,797	56,016	34,469	40,609
Jackson_C16_85_r.txt	7	7	7	7	16	203	16	203	6	64	0,015	0,375	0,031	0,39	0	0,125
Jackson_C16_85_y.txt	7	8	8	8	20237	23548	20237	23548	20059	33503	24,328	42,047	30,188	46,407	37,406	64,343
Jackson_C16_90_d.txt	6	7	7	7	20003	20572	20003	20572	20000	20075	34,937	38,969	37	54,313	34,234	42,593
Jackson_C16_90_r.txt	7	8	8	8	20043	21792	20043	21792	20043	20197	38	43,672	38,656	56,094	34,578	41,329
Jackson_C16_90_y.txt	7	9	9	9	20012	24539	20012	24539	20253	24539	24,047	43,735	25,625	42,578	37,641	45,125
Jackson_C16_95_d.txt	6	7	7	7	20030	20152	20030	20152	20000	20089	29,141	42,734	36,688	49,703	34,437	43,422
Jackson_C16_95_r.txt	7	9	9	9	20037	26114	20037	26114	20600	22554	24,375	36,812	32,797	52,157	31,485	48,046
Jackson_C16_95_y.txt	7	10	10	10	22462	33178	22462	33178	20386	24059	37,703	57,187	38,016	60,343	39,328	59,578
Jackson_C19_85_d.txt	5	6	6	6	20042	21934	20042	21934	20042	22000	24,656	34,531	26,875	47,359	23,016	38,36
Jackson_C19_85_r.txt	6	6	6	6	1	13	1	13	5	0	0,016	0	0,016	0	0,016	0,016
Jackson_C19_85_y.txt	6	7	7	7	23232	55647	23232	55647	20003	36831	27,5	98,578	27,797	106,515	37,421	71,219
Jackson_C19_90_d.txt	5	6	6	6	21597	35409	21597	35409	22839	44308	26,75	43,86	28,359	55,61	27,437	64,219
Jackson_C19_90_r.txt	6	6	6	7	289	4685	289	4685	20000	20146	0,344	10,453	0,453	5,656	23,875	30,094
Jackson_C19_90_y.txt	6	7	7	7	29324	48446	29324	48446	20092	48446	42,703	86,485	43,625	84,86	38,953	98,484
Jackson_C19_95_d.txt	5	6	6	6	20075	28183	20075	28183	20191	21318	25,938	33,469	23	53,516	23,64	33,672
Jackson_C19_95_r.txt	6	7	7	7	20162	20938	20162	20938	20086	20783	24,078	29,453	23,797	65,672	23,656	35,015
Jackson_C19_95_y.txt	6	8	8	8	20288	34344	20288	34344	20062	34344	29,593	40,797	35,515	49,969	38,031	66,297
Jackson_C21_85_d.txt	5	5	5	5	2	6	2	6	5	18	0	0,016	0	0,016	0,015	0,031
Jackson_C21_85_r.txt	5	6	6	6	22512	45143	22512	45143	20215	32034	28,719	55,719	25,406	67,203	23,453	42,219
Jackson_C21_85_y.txt	5	6	6	6	20873	45244	20873	45244	20000	43763	23,015	78,532	35,75	77,453	36,984	86,563
Jackson_C21_90_d.txt	5	5	5	5	3	63	3	63	12	40	0	0,078	0	0,11	0,016	0,047

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.1. (Devam) Jackson Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	Kmin	r	C*	CV	r		C*		CV		r		C*		CV	
Jackson_C21_90_r.txt	5	6	6	6	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Jackson_C21_90_y.txt	5	6	6	6	20586	29947	20586	29947	21269	25014	26,625	42,109	27,641	68,438	24,61	30,407
Jackson_C21_95_d.txt	5	5	5	6	24782	35300	24782	35300	20005	27392	1,828	9,843	4,172	14,438	26,188	57,282
Jackson_C21_95_r.txt	5	6	6	6	1633	7983	1633	7983	19776	36916	24,797	54,921	26,25	94,344	30,188	69,453
Jackson_C21_95_y.txt	6	7	7	7	20644	39473	20644	39473	20279	44034	40,906	108,609	46,11	103,266	38,641	81,625
Jackson_C25_85_d.txt	4	4	4	4	22973	60830	22973	60830	20205	60830	0	0	0	0,015	0	0,016
Jackson_C25_85_r.txt	4	5	5	5	1	4	1	4	1	4	30,531	40,766	34,046	69,75	23,5	34,469
Jackson_C25_85_y.txt	4	5	5	5	22420	35491	22420	35491	20415	27049	22,797	37,5	23,422	38,766	24,797	36,984
Jackson_C25_90_d.txt	4	4	4	4	20365	22180	20365	22180	20002	22180	0,016	0,156	0,016	0,344	0	0,032
Jackson_C25_90_r.txt	4	5	5	5	4	136	4	136	3	15	22,813	42,063	31,297	66,484	24	37,921
Jackson_C25_90_y.txt	5	5	5	5	20016	28856	20016	28856	20415	26897	0	0,016	0	0,016	0	37,985
Jackson_C25_95_d.txt	4	5	5	5	1	7	1	7	1	20029	22,14	37,625	26,125	59,484	24,406	32,422
Jackson_C25_95_r.txt	5	5	5	5	20105	29264	20105	29264	20258	25369	0	0,016	0	0,063	0	0,016
Jackson_C25_95_y.txt	5	6	6	6	2	10	2	10	1	6	23,297	38,109	23,687	43,984	25,016	37,891

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.2. Roszieng Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Roszieng_C30_85_d.txt	9	9	9	9	4	356	4	356	15	410	0,016	1	0	0,969	0,047	1,172
Roszieng_C30_85_r.txt	9	10	10	10	20269	45960	20269	45960	22504	34442	68,188	195,89	57,188	128,906	70,109	151,641
Roszieng_C30_85_y.txt	9	11	11	11	27199	48572	27199	48572	34192	57318	106,797	201,407	85,375	203,297	115,484	186,609
Roszieng_C30_90_d.txt	9	10	10	10	32058	62651	32058	62651	25598	40536	134,704	254,688	123,766	258,203	88,875	173,281
Roszieng_C30_90_r.txt	9	11	11	11	20422	42430	20422	42430	22045	42430	86,063	180,219	58,563	128,891	73,312	125,969
Roszieng_C30_90_y.txt	9	11	11	12	25930	42971	25930	42971	21348	42487	119	181,047	74,453	186,656	65,093	144,25
Roszieng_C30_95_d.txt	9	10	10	10	29054	60756	29054	60756	24232	54807	117,125	262,609	88,813	196,453	74,344	248,531
Roszieng_C30_95_r.txt	9	11	11	11	23423	70963	23423	70963	21761	49346	100,235	304,797	70,187	297,922	69,781	222,625
Roszieng_C30_95_y.txt	10	13	13	13	21225	43472	21225	43472	21225	48172	61,015	179,969	76,656	188,672	71,656	212,438
Roszieng_C32_85_d.txt	8	9	9	9	23266	44892	23266	44892	22267	57049	62,609	127,844	79,282	172,797	80,735	222,109
Roszieng_C32_85_r.txt	9	10	10	10	23992	48539	23992	48539	23604	53562	65,657	153,891	88,703	201,5	76,531	284,375
Roszieng_C32_85_y.txt	9	10	10	10	30841	49116	30841	49116	20262	41356	88,281	153,047	87,313	199,782	65,234	169,609
Roszieng_C32_90_d.txt	8	9	9	9	22345	60552	22345	60552	22095	34358	60,328	168,656	61,14	208,141	72,25	220,859
Roszieng_C32_90_r.txt	9	10	10	10	23798	31566	23798	31566	30843	59956	65,266	124,468	82,453	131,016	98,375	209,328
Roszieng_C32_90_y.txt	9	11	11	11	20821	35899	20821	35899	20271	33793	57,86	140,204	88,141	151,985	79,157	112,094
Roszieng_C32_95_d.txt	8	9	9	9	21251	46048	21251	46048	22095	34358	58,578	142,907	87,234	149,031	64,219	173,031
Roszieng_C32_95_r.txt	9	11	11	11	22400	51486	22400	51486	23532	61864	69,266	145,062	63,375	215,5	108,39	193,625
Roszieng_C32_95_y.txt	9	12	12	12	20993	41035	20993	41035	20169	52203	61,422	161,296	60,735	171,062	63,125	236,797
Roszieng_C33_85_d.txt	8	9	9	9	20558	58403	20558	58403	21122	44464	56,891	162,313	66,313	190,187	61,094	180,015
Roszieng_C33_85_r.txt	8	9	9	9	25409	50569	25409	50569	24509	44259	69,063	142,547	107,39	143,234	78,453	193,765
Roszieng_C33_85_y.txt	9	10	10	10	24614	57488	24614	57488	20079	41470	79,859	235,406	99,922	240,391	66,766	144,703
Roszieng_C33_90_d.txt	8	9	9	9	27759	56530	27759	56530	20267	43723	77,218	225,875	111,485	230,437	88,765	190
Roszieng_C33_90_r.txt	9	10	10	10	24839	38963	24839	38963	29441	55624	84,406	163,562	82,578	158,406	107,296	184,094
Roszieng_C33_90_y.txt	9	10	10	10	21820	35817	21820	35817	21121	43488	89,39	150,969	91,204	150,265	79,64	156,094
Roszieng_C33_95_d.txt	8	9	9	9	20580	35174	20580	35174	24159	43723	76,344	97,547	74,735	99,844	93,328	193,985
Roszieng_C33_95_r.txt	9	10	10	10	20836	41258	20836	41258	20055	42021	61,375	121,156	62,937	156,937	66,781	156,5
Roszieng_C33_95_y.txt	9	11	11	11	22529	36966	22529	36966	25751	47978	65,14	129,828	63,735	126,656	83,297	183,406
Roszieng_C38_85_d.txt	7	7	7	7	62	351	62	351	38	617	0,172	1,359	0,25	1,406	0,109	2
Roszieng_C38_85_r.txt	7	8	8	8	25086	69505	25086	69505	20253	45321	67,407	244,89	69,5	242,484	59,328	151,719
Roszieng_C38_85_y.txt	7	9	9	9	28654	40446	28654	40446	22061	37887	78,078	129,969	78,968	153,891	64,672	181,25
Roszieng_C38_90_d.txt	7	8	8	8	23750	59148	23750	59148	20358	47287	70,735	240,391	78,453	225,375	70,812	138,953
Roszieng_C38_90_r.txt	7	8	8	8	23276	62151	23276	62151	20035	38879	75,625	252,734	77,375	250,235	64,062	147,906
Roszieng_C38_90_y.txt	8	9	9	9	25859	47767	25859	47767	23719	41080	73,125	196,578	71,454	194,031	69,734	129,016

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.2. (Devam) Roszieng Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	Kmin	r	C*	CV	r		C*		CV		r		C*		CV	
					Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Roszieng_C38_95_d.txt	7	8	8	8	27218	39645	27218	39645	20358	47287	75,859	109,704	77,344	165,782	58,734	141,281
Roszieng_C38_95_r.txt	8	9	9	9	23246	56122	23246	56122	21127	57995	65,703	152,391	63,719	154,062	63,469	255,281
Roszieng_C38_95_y.txt	8	9	9	9	20840	41515	20840	41515	23426	41639	58,641	169,516	57,485	168,172	71,719	188,719
Roszieng_C46_85_d.txt	6	6	6	6	1	2	1	2	1	2	0	0,015	0	0,015	0	0,016
Roszieng_C46_85_r.txt	6	7	7	7	20607	36316	20607	36316	20051	23293	56,454	101,734	55,079	134,578	59,86	92,235
Roszieng_C46_85_y.txt	6	7	7	7	25808	48767	25808	48767	26024	90461	68,282	177,047	76,688	195,656	82,594	263,515
Roszieng_C46_90_d.txt	6	6	6	6	1	2	1	2	1	2	0	0	0	0,016	0	0
Roszieng_C46_90_r.txt	6	7	7	7	20741	41465	20741	41465	22484	34871	54,735	112,5	56,735	167,922	64,641	182,672
Roszieng_C46_90_y.txt	6	7	7	7	24377	51249	24377	51249	20216	30240	65,719	136,437	65,5	211,11	66,047	135,297
Roszieng_C46_95_d.txt	6	6	6	6	1	4	1	4	1	8	0	0,016	0	0,016	0	0,016
Roszieng_C46_95_r.txt	6	7	7	7	37601	54962	37601	54962	24093	53024	99,453	151,016	101,157	166,688	101,11	185,75
Roszieng_C46_95_y.txt	7	8	8	8	20679	49804	20679	49804	25155	45511	55,891	138,312	77,438	134,891	114,906	171,39

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.3. Sawyer Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	Kmin	r	C*	CV	r		C*		CV		r		C*		CV	
					Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Sawyer_C46_85_d.txt	15	16	16	16	20607	44548	20607	44548	23465	49162	55,516	118,672	55,031	119,75	102,906	443,859
Sawyer_C46_85_r.txt	15	18	18	18	30306	45775	30306	45775	25734	45116	82,75	126,39	85,391	126,859	171,562	239,704
Sawyer_C46_85_y.txt	15	19	19	19	24157	56148	24157	56148	22831	67729	66,329	154,406	67,234	158,078	148,578	444,953
Sawyer_C46_90_d.txt	15	16	16	16	29820	50515	29820	50515	21548	59958	79,218	134,187	80,109	135,844	139,5	365,781
Sawyer_C46_90_r.txt	15	19	19	19	21731	39738	21731	39738	22632	43898	59,219	108,437	60,078	109,906	203,735	282,5
Sawyer_C46_90_y.txt	15	21	21	21	22836	31757	22836	31757	28273	58955	63,297	87,922	64,11	89,093	184,11	372,11
Sawyer_C46_95_d.txt	15	17	17	17	21580	28475	21580	28475	22452	47895	57,344	75,515	58,063	76,562	135,813	303,625
Sawyer_C46_95_r.txt	16	23	23	23	22211	42158	22211	42158	21804	37613	62,328	118,39	63,297	119,907	142,532	261,344
Sawyer_C46_95_y.txt	16	23	23	23	22211	42158	22211	42158	21804	37613	62,328	118,39	63,297	119,907	142,532	261,344
Sawyer_C50_85_d.txt	13	15	15	15	20503	70650	20503	70650	29188	71228	53,704	185,375	54,438	187,672	182,078	434,843
Sawyer_C50_85_r.txt	14	17	17	17	24290	41512	24290	41512	25080	35812	65,5	111,953	66,453	113,704	153,281	241,797
Sawyer_C50_85_y.txt	14	18	18	18	22807	48490	22807	48490	22048	29911	62,25	132,203	63,141	133,703	136,266	205,984
Sawyer_C50_90_d.txt	14	15	15	15	21404	43738	21404	43738	21404	54847	56,25	115,093	57,015	116,157	128,859	333,985
Sawyer_C50_90_r.txt	14	18	18	18	20061	28556	20061	28556	26491	48416	54,532	77,484	55,297	79,375	166,906	307,5
Sawyer_C50_90_y.txt	14	19	19	19	26527	44775	26527	44775	25196	40872	72,593	122,547	73,593	124,156	186,813	254,907
Sawyer_C50_95_d.txt	14	16	16	16	27772	53658	27772	53658	20626	39800	72,984	141,093	73,937	144,329	123,484	289,078
Sawyer_C50_95_r.txt	14	19	19	19	22687	52653	22687	52653	21708	49431	61,765	143,234	62,375	145,141	131,281	385,187
Sawyer_C50_95_y.txt	15	21	21	21	26374	37718	26374	37718	25064	61467	72,953	104,375	73,969	105,641	161,547	388,546
Sawyer_C55_85_d.txt	12	14	14	14	21106	55787	21106	55787	20807	60097	54,687	144,765	56,187	147,672	134,36	365,86
Sawyer_C55_85_r.txt	13	15	15	15	29185	56265	29185	56265	22413	39199	77,843	150,25	78,985	152,047	155,672	254,938
Sawyer_C55_85_y.txt	13	16	16	16	22580	47604	22580	47604	23663	41260	60,812	128,532	61,812	130,36	186,625	255,485
Sawyer_C55_90_d.txt	12	14	14	14	25482	53857	25482	53857	23180	41669	66,125	139,594	67,047	141,953	148,282	370,516
Sawyer_C55_90_r.txt	13	15	15	15	25351	43713	25351	43713	28302	73252	67,86	116,859	68,828	119,734	220,094	468,547
Sawyer_C55_90_y.txt	13	17	17	17	26178	55882	26178	55882	24123	53598	70,906	151,25	71,875	153,484	151,391	346,125
Sawyer_C55_95_d.txt	12	14	14	14	20759	45427	20759	45427	24899	53885	53,813	117,672	54,563	119,312	158,641	321,453
Sawyer_C55_95_r.txt	13	17	17	17	24930	47438	24930	47438	23129	60184	67,062	127,813	68,109	131,047	147,25	499,688
Sawyer_C55_95_y.txt	13	19	19	19	25084	73312	25084	73312	20563	64493	68,563	200,234	69,485	203,156	128,844	452,312
Sawyer_C66_85_d.txt	10	11	11	11	21456	56125	21456	56125	31129	68594	53,578	139,984	54,219	142,485	194,125	543,984
Sawyer_C66_85_r.txt	11	12	12	12	20983	33124	20983	33124	28236	54925	53,938	85,109	54,906	86,39	181,406	501,36
Sawyer_C66_85_y.txt	11	13	13	13	31398	41604	31398	41604	20268	49736	81,984	108,625	83,516	110,093	124,656	324,672
Sawyer_C66_90_d.txt	10	11	11	11	21299	40012	21299	40012	22726	38579	53,172	99,969	54,047	101,391	160,672	238,797
Sawyer_C66_90_r.txt	11	13	13	13	25014	56432	25014	56432	21741	34239	65,391	147,64	66,266	149,828	145,531	214,563
Sawyer_C66_90_y.txt	11	14	14	14	22174	46863	22174	46863	29724	37475	58,625	124,156	59,656	126,032	185,968	347,437

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.3. (Devam) Sawyer Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	Kmin	r	C*	CV	r		C*		CV		r		C*		CV	
					Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Sawyer_C66_95_d.txt	10	12	12	12	31324	55794	31324	55794	23358	43563	78,438	139,734	79,531	142,094	149,797	289,891
Sawyer_C66_95_r.txt	11	14	14	14	21365	51472	21365	51472	22916	35177	56,187	135,594	57,359	137,5	140,188	271,641
Sawyer_C66_95_y.txt	11	15	15	15	20342	27895	20342	27895	20742	42652	54,218	74,172	55,015	75,703	192,313	274,313
Sawyer_C75_85_d.txt	9	10	10	10	22987	41631	22987	41631	26927	42090	57	103,344	57,641	104,937	184,781	299,625
Sawyer_C75_85_r.txt	9	11	11	10	21358	36434	21358	36434	20699	38615	53,954	91,813	54,828	93,672	122,953	356,266
Sawyer_C75_85_y.txt	10	11	11	11	29753	56227	29753	56227	21538	60924	75,781	143,25	77,047	145,531	132,109	562,75
Sawyer_C75_90_d.txt	9	10	10	10	22362	39070	22362	39070	22713	39533	55,266	96,641	56,266	98,219	134,344	290,875
Sawyer_C75_90_r.txt	10	11	11	11	26813	42513	26813	42513	21765	58596	67,766	107,422	68,906	109,078	151	530,484
Sawyer_C75_90_y.txt	10	12	12	12	21488	48333	21488	48333	23142	66071	54,922	123,563	56,062	125,938	141,625	404,781
Sawyer_C75_95_d.txt	9	10	10	10	22741	54930	22741	54930	25152	37420	56,282	136,109	57,203	138,125	151,5	330,109
Sawyer_C75_95_r.txt	10	12	12	12	31892	52953	31892	52953	25007	71468	82,312	136,688	83,516	139,188	155,781	692,329
Sawyer_C75_95_y.txt	10	12	12	12	24964	48761	24964	48761	33867	55118	64,672	126,25	65,797	128,187	208,296	339,203
Sawyer_C99_85_d.txt	7	7	7	7	2	16	2	16	1	16	0,015	0,047	0,015	0,031	0,015	0,125
Sawyer_C99_85_r.txt	7	8	8	8	20605	41821	20605	41821	21699	49505	51,219	103,578	52,078	105,454	198,016	293,906
Sawyer_C99_85_y.txt	7	8	8	8	20503	44413	20503	44413	22059	49942	51,344	110,875	52,25	113,015	135,625	444,734
Sawyer_C99_90_d.txt	7	7	7	7	152	2575	152	2575	40	2026	0,375	6,265	0,375	6,359	0,297	11,968
Sawyer_C99_90_r.txt	7	8	8	8	21412	50870	21412	50870	22169	56256	53,25	126,422	54,093	128,391	157,265	386,734
Sawyer_C99_90_y.txt	7	9	9	9	28600	41201	28600	41201	21190	41862	71,563	103,438	73,016	105,016	115,234	342,203
Sawyer_C99_95_d.txt	7	8	8	8	31228	43879	31228	43879	37003	70093	75,718	106,5	77,031	108,547	179,343	613,937
Sawyer_C99_95_r.txt	7	9	9	9	28069	54480	28069	54480	21005	44241	69,906	136,125	71,016	138,328	130,656	262,687
Sawyer_C99_95_y.txt	8	9	9	9	22452	66682	22452	66682	22171	44506	56,328	167,016	57,235	170,25	91,36	273,375

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.4. Killbridge Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Kilbridge_C132_85_d.txt	9	9	9	9	10	227	10	1398	117	998	0,047	1	0,047	6,516	0,828	7,375
Kilbridge_C132_85_r.txt	9	10	10	10	22701	38549	22701	38549	24787	52988	103,719	175,609	105,422	179,25	190,218	602,844
Kilbridge_C132_85_y.txt	9	10	10	10	23100	70870	23100	70870	22631	40154	107,188	325,359	112,156	332,656	270,343	477,297
Kilbridge_C132_90_d.txt	9	10	10	10	21535	41083	21535	41083	30538	42749	96,344	183,156	98,094	186,25	338,328	508,562
Kilbridge_C132_90_r.txt	9	10	10	10	32480	47673	22307	47673	27479	40772	147,594	216,265	102,968	220,031	306,89	450,875
Kilbridge_C132_90_y.txt	9	11	11	11	23634	33718	23634	33718	23259	58863	108,578	154,906	110,672	157,75	283,312	672,125
Kilbridge_C132_95_d.txt	9	10	10	10	25083	67492	25083	67492	24687	44369	112	301,172	114,187	308,344	269,625	503,312
Kilbridge_C132_95_r.txt	9	11	11	11	23667	53161	23667	53161	32673	50093	107,64	241,187	109,703	245,422	371,75	542,094
Kilbridge_C132_95_y.txt	10	12	12	12	42522	55792	37808	55792	22110	54183	195,578	257,14	177,141	264,938	264,594	616,078
Kilbridge_C153_85_d.txt	8	8	8	8	2	8	2	19	6	49	0,015	0,047	0,015	0,094	0,063	0,547
Kilbridge_C153_85_r.txt	8	9	9	9	21207	47250	21207	47250	27125	56163	95,937	213,203	97,656	219,797	292,891	615,672
Kilbridge_C153_85_y.txt	8	9	9	9	20902	31116	20902	31116	21980	75522	95,172	141,531	98,046	145,078	249,75	968,125
Kilbridge_C153_90_d.txt	8	8	8	8	5	27	5	27	5	76	0,015	0,11	0,031	0,125	0,062	0,828
Kilbridge_C153_90_r.txt	8	9	9	9	23993	62844	23993	62844	23263	71204	108,265	283,453	110,39	289,329	254,516	781,047
Kilbridge_C153_90_y.txt	8	9	9	9	24203	49821	24203	49821	20389	58860	110,266	226,703	113,141	230,922	234,64	690,235
Kilbridge_C153_95_d.txt	8	8	8	8	19	374	19	374	30	1362	0,078	1,656	0,078	1,687	0,313	15,625
Kilbridge_C153_95_r.txt	8	9	9	9	24810	32879	24810	64020	21524	61693	111,875	148,36	113,89	293,922	233,328	659,359
Kilbridge_C153_95_y.txt	8	10	10	10	24268	53100	24268	53100	25863	76339	110,735	242,063	113,547	247,219	292,343	971,391
Kilbridge_C183_85_d.txt	7	7	7	7	1	1	1	2	1	1	0	0,016	0	0,016	0	0,016
Kilbridge_C183_85_r.txt	7	7	7	7	1	3	1	3	1	2	0	0,016	0	0,016	0,015	0,031
Kilbridge_C183_85_y.txt	7	7	7	7	1400	28538	1400	28538	2944	14918	6,313	129,14	6,438	131,516	33,828	426,797
Kilbridge_C183_90_d.txt	7	7	7	7	1	3	1	3	1	1	0	0,015	0	0,016	0	0,031
Kilbridge_C183_90_r.txt	7	7	7	7	115	189	56	189	2	31	0,516	0,844	0,25	0,875	0,015	0,859
Kilbridge_C183_90_y.txt	7	8	8	8	22625	29990	22625	60823	23566	45753	102,25	135,641	104,359	280,063	271,703	1333,156
Kilbridge_C183_95_d.txt	7	7	7	7	1	4	1	4	1	4	0,016	0,032	0	0,016	0	0,047
Kilbridge_C183_95_r.txt	7	8	8	8	30581	54434	20499	54434	22831	70329	137,078	244,593	93,609	248,781	267,453	1938,312
Kilbridge_C183_95_y.txt	7	8	8	8	23273	34246	23273	35217	21735	56404	105,328	155,109	107,172	162,172	353,125	765,094
Kilbridge_C230_85_d.txt	5	6	6	6	27493	73468	27493	73468	22840	69079	119	317,875	121,203	323,86	256,828	1582,125
Kilbridge_C230_85_r.txt	5	6	6	6	35570	54108	35570	54108	23507	37206	156,797	238,015	159,906	243,25	288,094	802,563
Kilbridge_C230_85_y.txt	6	6	6	6	1	1	1	1	1	1	0	0,016	0	0,015	0,015	0,032
Kilbridge_C230_90_d.txt	5	6	6	6	26404	50379	26404	50379	24081	48155	113,875	217,797	116,219	221,984	256,015	785,734
Kilbridge_C230_90_r.txt	6	6	6	6	1	2	1	2	1	2	0	0,015	0	0,016	0	0,015
Kilbridge_C230_90_y.txt	6	6	6	6	1	3	1	3	1	2	0	0,016	0	0,016	0,015	0,016

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.4. (Devam) Killbridge Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	Kmin	r	C*	CV	r		C*		CV		r		C*		CV	
					Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Kilbridge_C230_95_d.txt	5	6	6	6	20450	53543	20450	53543	23420	80928	88,078	231,203	89,859	235,593	249,985	1689,407
Kilbridge_C230_95_r.txt	6	6	6	6	1	1	1	1	1	2	0	0,016	0	0,016	0	0,031
Kilbridge_C230_95_y.txt	6	6	6	6	4	13	4	13	1	5	0,016	0,047	0,016	0,063	0	0,203
Kilbridge_C307_85_d.txt	4	4	4	4	1	18	1	18	1	2	0	0,078	0	0,078	0	0,031
Kilbridge_C307_85_r.txt	4	4	4	4	12	37	2	37	1	5	0,062	0,156	0,016	0,172	0,016	0,125
Kilbridge_C307_85_y.txt	4	5	5	5	21226	39548	21226	39548	22044	35923	93,437	174,25	95,312	177,688	255,687	644,609
Kilbridge_C307_90_d.txt	4	4	4	4	3	14	3	14	1	6	0,015	0,062	0,015	0,062	0,015	0,063
Kilbridge_C307_90_r.txt	4	5	5	4	6595	25506	6595	40350	365	1664	28,859	111,672	29,437	179,859	4,906	17,984
Kilbridge_C307_90_y.txt	4	5	5	5	25084	66629	25084	66629	33308	55601	110,546	293,766	112,766	299,094	467,047	986,328
Kilbridge_C307_95_d.txt	4	4	4	4	1	14	1	14	1	3	0	0,047	0	0,063	0	0,032
Kilbridge_C307_95_r.txt	4	5	5	5	24149	76746	24149	76746	21274	40842	105,687	336,187	107,828	342,969	242,312	586,079
Kilbridge_C307_95_y.txt	4	5	5	5	24712	27562	24712	29732	25654	43745	108,828	121,031	111,032	133,406	298,25	1303,719
Kilbridge_C95_85_d.txt	12	13	13	13	20554	69300	20554	69300	21520	61024	93,984	317,969	95,579	323,25	353,407	676,812
Kilbridge_C95_85_r.txt	13	14	14	14	25495	59891	25495	59891	26723	33954	116,062	280,453	117,766	283,593	292,079	881,25
Kilbridge_C95_85_y.txt	13	15	15	15	24157	68878	24157	68878	32297	53466	112,547	322,203	115,625	330,5	368,313	1099,954
Kilbridge_C95_90_d.txt	12	13	13	13	20131	56058	20131	56058	22154	61916	89,797	249,485	91,093	253,938	166,109	1447,89
Kilbridge_C95_90_r.txt	13	15	15	15	33820	48214	21293	48214	21583	33091	153,907	219,407	98,281	223,156	161,156	899,094
Kilbridge_C95_90_y.txt	13	16	16	16	23235	43848	23235	43848	25551	40830	106,812	202,703	109,546	205,843	218,485	727,703
Kilbridge_C95_95_d.txt	12	14	14	14	23048	27022	23048	33368	28509	41192	102,969	120,844	104,297	151,297	213,516	1184,891
Kilbridge_C95_95_r.txt	13	16	16	16	22099	34277	22099	34277	27642	41640	101,015	156,156	102,547	159,485	204,657	795,343
Kilbridge_C95_95_y.txt	13	17	17	17	23641	42602	23641	45210	25753	70476	109,86	198,157	111,546	213,328	201,313	1882,516

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.5. Hahn Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Hahn_C2806_85_d.txt	10	11	11	11	23644	71409	23644	71409	28774	46159	153,156	484,922	154,391	487,844	200,609	333,938
Hahn_C2806_85_r.txt	11	13	13	13	22801	35805	22801	35805	25298	61427	151,968	239,468	153,86	241,407	192,125	465,36
Hahn_C2806_85_y.txt	11	13	13	13	22801	35805	22801	35805	25298	61427	151,968	239,468	153,86	241,407	192,125	465,36
Hahn_C2806_90_d.txt	10	11	11	11	22809	65702	22809	65702	26831	71036	148,141	442,781	149,281	446,796	197,594	522,219
Hahn_C2806_90_r.txt	11	13	13	14	26769	57274	26769	57274	27460	38640	179,734	398,437	181,219	402,688	198,86	285,75
Hahn_C2806_90_y.txt	11	13	13	14	26769	57274	26769	57274	27460	38640	179,734	398,437	181,219	402,688	198,86	285,75
Hahn_C2806_95_d.txt	10	11	11	11	21388	36504	21388	36504	22122	51442	145,25	249,75	146,953	251,828	159,141	380,329
Hahn_C2806_95_r.txt	11	15	15	15	20633	41231	20633	41231	24432	55709	139,421	289,141	140,703	291,843	183,094	404,844
Hahn_C2806_95_y.txt	11	15	15	15	20633	41231	20633	41231	24432	55709	139,421	289,141	140,703	291,843	183,094	404,844
Hahn_C3157_85_d.txt	9	10	10	10	25565	57786	25565	57786	20372	38248	162,578	382,359	164,469	386,609	140,641	273,375
Hahn_C3157_85_r.txt	9	11	11	11	27465	63342	27465	63342	20472	39673	177,875	426,328	179,625	430,469	148,359	288,312
Hahn_C3157_85_y.txt	9	11	11	11	24316	57985	24316	57985	23103	51968	168,515	380	170,203	383,687	164,516	369,688
Hahn_C3157_90_d.txt	9	10	10	10	26442	66244	26442	66244	20443	39362	175,297	421,938	176,766	425,703	146,047	271,219
Hahn_C3157_90_r.txt	9	12	12	12	26140	55068	26140	55068	29943	60517	172,078	376,656	173,765	379,828	223,703	429,172
Hahn_C3157_90_y.txt	10	11	11	11	21856	36257	21856	36257	21665	58233	149,562	252,781	150,875	254,75	155,015	431,25
Hahn_C3157_95_d.txt	9	10	10	10	20895	58376	20895	58376	20143	36251	133,11	386,985	134,343	390,297	145,219	249,75
Hahn_C3157_95_r.txt	10	13	13	13	27910	30453	27910	30453	23286	50136	186,578	211,625	188,203	213,625	173,484	360,985
Hahn_C3157_95_y.txt	10	13	13	13	27910	30453	27910	30453	23286	50136	186,578	211,625	188,203	213,625	173,484	360,985
Hahn_C3507_85_d.txt	8	9	9	9	20112	38247	20112	38247	20112	61142	127,796	252,422	129,14	255,407	138,735	442,5
Hahn_C3507_85_r.txt	8	9	9	9	20263	40653	20263	40653	23373	55381	137,062	270,656	138,562	273,782	162,391	384,828
Hahn_C3507_85_y.txt	9	10	10	10	22087	40338	22087	40338	26691	40287	150,859	270,782	152,172	273,343	194,516	289,578
Hahn_C3507_90_d.txt	8	9	9	9	23863	43440	23863	43440	23863	59231	151,484	286,579	152,921	289,344	164,766	428,125
Hahn_C3507_90_r.txt	9	10	10	10	21780	49516	21780	49516	21780	42750	147,437	318,828	148,671	320,781	159,078	296,657
Hahn_C3507_90_y.txt	9	10	10	10	25102	69367	25102	69367	39768	54867	168,86	447,766	170,531	452,406	280,266	408,547
Hahn_C3507_95_d.txt	8	9	9	9	23733	34059	23733	34059	25745	49951	156,359	215,844	158,016	218,031	183,828	360,625
Hahn_C3507_95_r.txt	9	11	11	11	21869	57206	21869	57206	22336	58806	149,141	398,39	151,078	401,844	164,797	419,266
Hahn_C3507_95_y.txt	9	11	11	11	21869	57206	21869	57206	22336	58806	149,141	398,39	151,078	401,844	164,797	419,266
Hahn_C3789_85_d.txt	8	8	8	8	1	5	1	5	1	4	0	0,046	0	0,047	0	0,031
Hahn_C3789_85_r.txt	8	9	9	9	21210	36829	21210	36829	21562	47219	142	250,109	143,422	252,218	150,078	340,172
Hahn_C3789_85_y.txt	8	9	9	9	22178	37761	22178	37761	29773	54648	151,828	242,953	154,703	245,593	215,297	383,703
Hahn_C3789_90_d.txt	8	8	8	8	1	5	1	5	1	5	0	0,031	0,015	0,031	0	0,031
Hahn_C3789_90_r.txt	8	9	9	9	20765	46459	20765	46459	20522	69157	140,687	308,969	141,828	312,593	142,11	497,141
Hahn_C3789_90_y.txt	8	9	9	9	25233	40116	25233	40116	25666	51179	170,328	257,218	172,234	260,438	179,641	371,687

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.5. (Devam) Hahn Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	r		C*		r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Hahn_C3789_95_d.txt	8	8	8	8	2	9	2	9	1	11	0	0,062	0,016	0,063	0	0,078
Hahn_C3789_95_r.txt	8	9	9	10	27704	58252	27704	58252	23539	46759	187,625	388,078	189,282	391,89	163,625	341,25
Hahn_C3789_95_y.txt	8	10	10	10	20831	55818	20831	55818	27441	61348	142,609	373,968	143,891	377,125	204,11	448,437
Hahn_C4676_85_d.txt	6	7	7	7	21406	46565	21406	46565	20008	33458	140,985	293,64	142,469	295,516	143,062	238,563
Hahn_C4676_85_r.txt	6	7	7	7	22144	38316	22144	38316	21077	42412	140,75	254,594	142,422	257,172	145,953	304,671
Hahn_C4676_85_y.txt	7	7	7	7	1	3	1	3	1	4	0	0,031	0	0,015	0	0,031
Hahn_C4676_90_d.txt	6	7	7	7	23404	38923	23404	38923	22363	33458	155,562	245,062	156,828	248,203	153,5	237,875
Hahn_C4676_90_r.txt	7	7	7	7	1	4	1	4	1	6	0	0,031	0	0,032	0,016	0,046
Hahn_C4676_90_y.txt	7	8	8	8	22247	39122	22247	39122	26092	45305	142,656	251,031	144,421	253,906	189,922	317,719
Hahn_C4676_95_d.txt	6	7	7	7	23465	47519	23465	47519	20455	28982	155,406	298,64	156,781	302,422	142,406	198,578
Hahn_C4676_95_r.txt	7	8	8	8	23750	51293	23750	51293	20316	51049	158,375	340,188	159,938	344,141	145,343	371,062
Hahn_C4676_95_y.txt	7	8	8	8	24860	47834	24860	47834	20068	21331	159,859	327,469	161,562	329,843	142,938	153,375
Hahn_C4735_85_d.txt	6	7	7	7	20471	62756	20471	62756	21339	40254	129	410,891	130,5	415,922	152,609	277,203
Hahn_C4735_85_r.txt	6	7	7	7	25163	47461	25163	47461	20116	62856	166,453	301,953	168,406	305,454	145,25	437,157
Hahn_C4735_85_y.txt	6	7	7	7	21839	35286	21839	35286	21731	33703	139,172	224,859	141,016	227,375	153,641	236,485
Hahn_C4735_90_d.txt	6	7	7	7	23404	33881	23404	33881	22245	55030	155,515	222,859	156,891	224,922	152,86	392,954
Hahn_C4735_90_r.txt	6	7	7	7	21705	43325	21705	43325	20171	49230	137,688	287,187	139,296	290,015	138,75	351,75
Hahn_C4735_90_y.txt	7	8	8	8	21657	51362	21657	51362	25832	57132	139,25	344,359	140,797	347,812	181,75	415,703
Hahn_C4735_95_d.txt	6	7	7	7	22401	33705	22401	33705	21777	32527	147,25	211,984	148,765	214,172	154,563	231,5
Hahn_C4735_95_r.txt	7	8	8	8	22627	44543	22627	44543	20194	50427	152,984	297,375	154,578	300,296	140,094	370,016
Hahn_C4735_95_y.txt	7	8	8	8	29915	74180	29915	74180	20080	20507	192,031	476,391	194,25	481,531	140,782	152,203
Hahn_C6314_85_d.txt	5	5	5	5	1	3	1	3	1	1	0	0,031	0	0,016	0	0,016
Hahn_C6314_85_r.txt	5	5	5	5	1	7	1	7	1	7	0	0,047	0	0,047	0,015	0,047
Hahn_C6314_85_y.txt	5	5	5	5	2	7	2	7	3	10	0	0,047	0,015	0,047	0,031	0,078
Hahn_C6314_90_d.txt	5	5	5	5	1	3	1	3	1	2	0	0,016	0	0,016	0	0,016
Hahn_C6314_90_r.txt	5	5	5	5	2	4	2	4	1	7	0	0,016	0,015	0,031	0,015	0,047
Hahn_C6314_90_y.txt	5	5	5	5	3	125	3	125	125	3060	0,016	0,828	0,016	0,844	0,875	22,125
Hahn_C6314_95_d.txt	5	5	5	5	1	3	1	3	1	3	0	0,016	0	0,016	0	0,016
Hahn_C6314_95_r.txt	5	6	6	6	21821	44838	21821	44838	20036	29239	143,422	282,453	145,156	285,86	143,266	212,75
Hahn_C6314_95_y.txt	5	6	6	6	20471	63411	20471	63411	20471	63411	128,343	413,187	129,813	418,078	142,875	458,5

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.6. Tonge Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	Kmin	r	C*	CV	r		C*		CV		r		C*		CV	
					Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Tonge_C289_85_d.txt	25	28	28	28	20772	40833	20772	40833	22654	64769	237,671	458,297	241,562	466,578	275,563	812,453
Tonge_C289_85_r.txt	25	30	30	30	21183	43340	21183	43340	20943	81767	240,641	503,187	243,969	510,719	264,422	999,546
Tonge_C289_85_y.txt	26	32	32	32	25091	58169	25091	58169	20005	40117	290,297	696,703	293,922	706,187	263,094	497,875
Tonge_C289_90_d.txt	25	28	28	28	24872	58318	24872	58318	27640	50880	280,938	678,093	284,75	687,25	343,422	634,282
Tonge_C289_90_r.txt	25	31	31	31	20124	44669	20124	44669	27846	50157	230,734	527,297	233,469	534,516	341,64	616,765
Tonge_C289_90_y.txt	26	34	34	34	22438	51801	22438	51801	24881	42705	261,812	615,797	265,047	623,172	316,156	544,265
Tonge_C289_95_d.txt	25	29	29	30	22871	35426	22871	35426	20047	35532	264,094	410,422	266,688	414,266	249,984	439,235
Tonge_C289_95_r.txt	26	33	33	33	24990	49749	24990	49749	24386	59069	287,609	591,203	291,094	598,359	308,234	747,937
Tonge_C289_95_y.txt	26	37	37	37	25217	63468	25217	63468	29157	63313	303,031	747,625	307,265	757,563	373,313	799,703
Tonge_C304_85_d.txt	24	26	26	26	23913	74990	23913	74990	20366	58609	272,688	863,984	283,484	876,11	245,203	723,062
Tonge_C304_85_r.txt	24	28	28	28	21749	44389	21749	44389	26372	93892	250,61	502,688	258,984	522,422	332,172	1149,063
Tonge_C304_85_y.txt	24	30	30	30	20669	53155	20669	53155	32556	61332	246,563	609,829	246,937	618,672	404,328	788,407
Tonge_C304_90_d.txt	24	27	27	27	21312	40240	21312	40240	20480	47664	238,313	458,328	248,125	474,813	247,781	584,578
Tonge_C304_90_r.txt	24	30	30	30	34206	54385	34206	54385	20566	34724	389,234	617,796	393,687	636,437	251,735	437,235
Tonge_C304_90_y.txt	25	32	32	32	23071	45434	23071	45434	20005	67434	272,297	524,969	275,907	530,453	254,078	836,968
Tonge_C304_95_d.txt	24	28	28	28	24286	63740	24286	63740	22387	41691	272,953	730,937	275,907	739,562	277,125	504,312
Tonge_C304_95_r.txt	25	31	31	31	25462	56283	25462	56283	23920	32191	305,093	643,25	300,625	649,156	292,172	405,953
Tonge_C304_95_y.txt	25	35	35	35	24606	57201	24606	57201	27364	72656	293,406	669,671	296,547	676,797	342,156	912,672
Tonge_C374_85_d.txt	19	21	21	21	20500	55327	20500	55327	21880	66713	227,312	606,843	228,297	614,265	262,75	800,015
Tonge_C374_85_r.txt	20	22	22	23	21954	42977	21954	42977	24548	36912	243,062	475,453	246,062	481,984	300,657	445,796
Tonge_C374_85_y.txt	20	24	24	24	22580	51401	22580	51401	25885	52750	249,328	566	251,719	573,11	318,406	664,016
Tonge_C374_90_d.txt	19	21	21	22	23794	40577	23794	40577	22806	64161	255,406	446,328	257,953	451,766	266,25	769,625
Tonge_C374_90_r.txt	20	23	23	23	26485	63391	26485	63391	22218	69922	295,5	690,625	299,063	699,75	262,328	847,688
Tonge_C374_90_y.txt	20	25	25	25	22267	43864	22267	43864	20098	37270	248,234	490,141	251,454	494,812	255,469	452,703
Tonge_C374_95_d.txt	20	22	22	22	31522	55155	31522	55155	35261	56428	339,031	607,204	342,218	614,609	426,407	658,641
Tonge_C374_95_r.txt	20	25	25	25	21238	50793	21238	50793	25378	43358	243,563	559,609	244,437	567,125	302,64	530,812
Tonge_C374_95_y.txt	20	27	27	27	21286	44147	21286	44147	29071	82850	238,844	517,625	241,906	518,891	354,781	1027,64
Tonge_C423_85_d.txt	17	18	18	19	27044	61580	27044	61580	29385	57550	292,094	675,953	295,843	680,5	341,547	678,781
Tonge_C423_85_r.txt	17	20	20	20	24908	51267	24908	51267	25159	49192	272,313	562,015	275,843	568,563	295,063	584,969
Tonge_C423_85_y.txt	18	21	21	21	20243	60799	20243	60799	23720	65025	218,86	670,563	221,5	679,609	287,485	770,937
Tonge_C423_90_d.txt	17	19	19	19	23020	46707	23020	46707	23234	43698	243,656	506,516	246,5	513,281	261,812	546,172
Tonge_C423_90_r.txt	18	20	20	20	21286	52793	21286	52793	31237	48714	228,453	578,781	230,75	586,75	364,859	567,485
Tonge_C423_90_y.txt	18	22	22	22	21159	23868	21159	23868	22785	47739	229,953	258,937	232,094	261,984	276,718	594,375

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.6. (Devam) Tonge Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Tonge_C423_95_d.txt	17	19	19	20	28839	44054	28839	44054	21019	58762	305,328	466,781	308,734	471,766	243,516	703,922
Tonge_C423_95_r.txt	18	21	21	21	20015	42932	20015	42932	25890	67094	220,047	461,844	222,922	467	327,375	814,953
Tonge_C423_95_y.txt	18	23	23	23	20150	31095	20150	31095	26313	97001	220,718	348,078	222,984	351,672	321,047	1213,984
Tonge_C488_85_d.txt	15	16	16	16	28118	58170	28118	58170	22319	49641	293,031	630,703	297,063	634,188	255,656	618,984
Tonge_C488_85_r.txt	15	17	17	17	25392	55160	25392	55160	23998	52518	268,11	595,016	271,344	602,718	277,657	658,547
Tonge_C488_85_y.txt	15	18	18	18	22296	51059	22296	51059	23547	47173	237,391	570,531	240,047	574,453	282,641	557,015
Tonge_C488_90_d.txt	15	16	16	16	26247	90721	26247	90721	22871	39496	280,187	946,484	284,485	958,828	266,797	484,625
Tonge_C488_90_r.txt	15	17	17	18	22459	41178	22459	41178	21397	46256	248,266	444,64	249,36	451,766	257,937	535,61
Tonge_C488_90_y.txt	15	19	19	19	20003	40320	20003	40320	20887	35897	214,141	440,781	216,328	446,203	266,984	425,625
Tonge_C488_95_d.txt	15	17	17	17	20035	47807	20035	47807	20328	42483	209,016	499,797	211,875	505	243,594	496,375
Tonge_C488_95_r.txt	15	18	18	18	23865	51946	23865	51946	20917	39139	253,219	573,156	255,719	581,859	242,188	462,625
Tonge_C488_95_y.txt	16	20	20	20	32655	76631	32655	76631	21704	43371	350,891	839,625	354,484	855,375	268,36	512,375
Tonge_C529_85_d.txt	14	15	15	15	28580	46130	28580	46130	20023	56349	295,562	496,844	300,469	505,078	229,875	690,406
Tonge_C529_85_r.txt	14	15	15	16	21724	66982	21724	66982	21314	84767	227,312	717,36	231,282	726,938	250,407	1016,359
Tonge_C529_85_y.txt	14	16	16	16	28695	43959	28695	43959	22993	39161	309,734	465,187	315	471,094	274,093	467,219
Tonge_C529_90_d.txt	14	15	15	15	22423	59129	22423	59129	21264	49748	237,282	612,469	240,766	622,188	250,547	577,359
Tonge_C529_90_r.txt	14	16	16	16	20202	65921	20202	65921	25490	39828	221,797	707,438	225,328	719,516	298,844	467,468
Tonge_C529_90_y.txt	14	17	17	17	24067	31661	24067	31661	20018	70162	258,906	338,86	263,312	344,203	235,016	839,312
Tonge_C529_95_d.txt	14	15	15	15	22592	59326	22592	59326	26999	44499	243,265	613,547	247,172	623,687	313,718	523,75
Tonge_C529_95_r.txt	14	17	17	17	29352	39000	29352	39000	24947	52361	311,625	429,422	317,078	435,86	293,375	603,891
Tonge_C529_95_y.txt	15	18	18	18	28102	49546	28102	49546	26561	45452	307,5	526,781	312,375	535,625	312,547	558,922

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.7. WeeMag Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
WeeMag_C52_85_d.txt	58	69	69	69	22324	66505	22324	66505	25214	67038	348,484	1057,578	375,593	1086,422	418,844	1115,891
WeeMag_C52_85_r.txt	59	96	96	96	22464	31995	22464	31995	21817	47663	398,25	567,094	403,5	825,109	395,391	876,656
WeeMag_C52_85_y.txt	59	116	116	116	20315	51497	20315	51497	20315	51497	384,344	987,203	390,156	1007,735	390,625	992
WeeMag_C52_90_d.txt	58	73	73	74	22736	39504	22736	39504	20996	47618	360,938	636,312	366,063	728,5	352,907	791,093
WeeMag_C52_90_r.txt	59	100	100	101	20947	48514	20947	48514	23637	46911	376,562	872,938	381,984	1038,578	435,437	879,297
WeeMag_C52_90_y.txt	60	118	118	118	20862	51665	20862	51665	20927	51665	398	1013,047	404,109	1037,719	404,109	1030,984
WeeMag_C52_95_d.txt	58	80	80	80	20946	33328	20946	33328	21979	42988	339,782	547,672	344,844	559,609	371,125	733,172
WeeMag_C52_95_r.txt	60	105	105	105	20467	46240	20467	46240	21438	41611	378,609	858,063	384,64	870,375	400,391	768,532
WeeMag_C52_95_y.txt	61	119	119	119	24117	40336	24117	40336	24117	40336	466,5	769,469	474,219	781,531	468,984	780,562
WeeMag_C53_85_d.txt	57	66	66	67	20353	50234	20353	50234	23002	44277	313,547	786,672	341,813	800,125	373,157	733,047
WeeMag_C53_85_r.txt	58	92	92	92	20682	45926	20682	45926	21248	52583	361,328	803,375	392,766	815,063	380,047	934,156
WeeMag_C53_85_y.txt	58	114	114	114	21728	41441	21728	41441	21728	34518	414,562	807,031	422,047	827,407	421,609	656
WeeMag_C53_90_d.txt	57	69	69	70	27597	46239	27597	46239	20773	56900	436,766	731,5	443,391	750,438	337,25	943,64
WeeMag_C53_90_r.txt	58	97	97	98	23608	76137	23608	76137	21460	44366	421,265	1380,891	427,578	1415,891	392,719	821,89
WeeMag_C53_90_y.txt	59	118	118	118	20851	44039	20851	44039	20851	44039	409,437	836,704	419,391	848,438	417,25	850,172
WeeMag_C53_95_d.txt	57	77	77	77	25298	61846	25298	61846	23567	65372	410,578	1003,625	416,297	1027,735	397,453	1081,5
WeeMag_C53_95_r.txt	59	102	102	102	31699	57550	31699	57550	23102	75105	574,359	1063,531	583,282	1087,86	435,421	1408,984
WeeMag_C53_95_y.txt	60	119	119	119	21691	66293	21691	66293	21691	66293	427,297	1280,157	438,36	1301,531	434,532	1304,453
WeeMag_C54_85_d.txt	56	64	64	64	20186	53267	20186	53267	21243	37120	308,625	814,906	314,438	834,985	348,219	593,984
WeeMag_C54_85_r.txt	57	87	87	88	21212	32339	21212	32339	20478	74226	363,5	556,375	371,578	575,266	359,922	1324,282
WeeMag_C54_85_y.txt	57	111	111	111	25050	87357	25050	87357	25050	87357	467,906	1652,734	479,438	1688,125	471,39	1690,282
WeeMag_C54_90_d.txt	56	67	67	67	25907	50758	25907	50758	25697	46752	405,563	781,547	415,485	800,469	423,516	750,671
WeeMag_C54_90_r.txt	57	96	96	96	25086	46172	25086	46172	27498	66352	450,562	834,437	456,406	854,406	505,422	1200,485
WeeMag_C54_90_y.txt	58	117	117	117	21118	32294	21118	32294	21118	32294	404,453	611,563	414,61	626,719	413,203	620,157
WeeMag_C54_95_d.txt	56	72	72	74	27660	46070	27660	46070	21122	37928	442,657	725,578	453,484	743,828	354,047	633,718
WeeMag_C54_95_r.txt	58	101	101	101	21047	66317	21047	66317	22593	44178	383,437	1191,594	393,703	1247,781	424,531	823,985
WeeMag_C54_95_y.txt	58	118	118	118	20388	47841	20388	47841	20256	62396	392,657	920,469	411,719	942,531	397,485	1250,359
WeeMag_C56_85_d.txt	54	62	62	62	30657	78379	30657	78379	27821	57726	467,594	1215,203	478,141	1249,187	451,813	953,859
WeeMag_C56_85_r.txt	55	77	77	78	21190	61759	21190	61759	28060	81471	351	1006,64	359,062	1027,765	482,703	1370,454
WeeMag_C56_85_y.txt	55	102	102	102	20402	49677	20402	49677	24228	37932	367,609	908,265	375,906	932,031	450,313	708,766
WeeMag_C56_90_d.txt	54	63	63	63	22368	56281	22368	56281	27435	47894	340,297	870,828	351,125	893,75	441,844	767,625
WeeMag_C56_90_r.txt	55	87	87	88	20799	60331	20799	60331	21338	41798	354,454	1028,625	362,032	1055,062	371,407	744,313

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.7. WeeMag Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
WeeMag_C56_90_y.txt	56	113	113	113	30758	69177	30758	69177	22366	69177	576,14	1317,218	589,047	1349,656	433,844	1333,157
WeeMag_C56_95_d.txt	54	67	67	68	20643	66366	20643	66366	24235	52104	316,875	1035,953	325,031	1063,547	398,625	839,843
WeeMag_C56_95_r.txt	56	96	96	96	20365	61191	20365	61191	27037	41833	366,032	1098,594	373,969	1126,922	489,687	769,938
WeeMag_C56_95_y.txt	56	118	118	118	20927	57722	20927	57722	20927	57722	396,86	1093,765	406,687	1120,922	404,266	1107,641
WeeMag_C58_85_d.txt	52	61	61	61	26393	52002	26393	52002	31469	66626	400,828	802,891	410,89	826,422	525,953	1082,844
WeeMag_C58_85_r.txt	53	68	68	69	23594	37240	23594	37240	21724	59751	375,765	593,109	385,719	607,031	353,953	996,282
WeeMag_C58_85_y.txt	53	92	92	92	26218	61086	26218	61086	22123	61086	455,344	1060,484	466,89	1083,203	409,609	1085,282
WeeMag_C58_90_d.txt	52	61	61	61	21699	38985	21699	38985	24565	43926	330,641	601,531	346,687	619,063	401,141	720,031
WeeMag_C58_90_r.txt	53	80	80	80	20272	60234	20272	60234	20981	47264	333,094	991	348,532	1015,391	362,672	818,734
WeeMag_C58_90_y.txt	54	107	107	107	20827	61018	20827	61018	20416	49433	387,297	1137,828	397,406	1191,25	384,016	923,484
WeeMag_C58_95_d.txt	52	63	63	64	20639	69730	20639	69730	20508	44203	312,968	1057,766	320,75	1108,641	334,937	723,329
WeeMag_C58_95_r.txt	54	90	90	90	21277	47268	21277	47268	23133	50996	367,078	826,734	375,687	844,89	415,531	920,469
WeeMag_C58_95_y.txt	54	116	116	116	20059	49695	20059	49695	20059	49695	383,36	939,078	392,61	961,984	387,922	954,344
WeeMag_C59_85_d.txt	51	60	60	60	26477	50839	26477	50839	21008	47815	403,235	782,969	418,046	806,046	341,688	768,906
WeeMag_C59_85_r.txt	52	67	67	67	20631	77088	20631	77088	25238	69666	321,375	1205,282	329,391	1261,375	417,64	1150,015
WeeMag_C59_85_y.txt	52	85	85	86	27240	62355	27240	62355	22343	33129	464,453	1064,797	475,078	1113,875	382,484	580,297
WeeMag_C59_90_d.txt	51	61	61	61	27474	49248	27474	49248	20164	26666	423,016	745,203	435,203	760,812	330,25	435,469
WeeMag_C59_90_r.txt	52	76	76	77	21565	31542	21565	31542	22026	54054	347,25	511,047	353,594	524,157	371,234	917,343
WeeMag_C59_90_y.txt	53	103	103	103	33115	50005	33115	50005	33115	50005	608,437	903,734	632,532	926,266	626,047	913,594
WeeMag_C59_95_d.txt	51	62	62	62	22684	61468	22684	61468	32181	54526	342,641	930,594	351,375	975,078	514,454	880,235
WeeMag_C59_95_r.txt	53	87	87	87	27472	36224	27472	36224	24211	57808	472,188	623,187	481,469	639,219	418,094	1013,843
WeeMag_C59_95_y.txt	54	114	114	114	26603	74495	26603	74495	26603	40849	509,657	1422,343	532,781	1437,359	522,844	775,047
WeeMag_C61_85_d.txt	49	60	60	60	23712	43169	23712	43169	22966	40023	362,016	659,312	371,359	671,312	367,141	652,828
WeeMag_C61_85_r.txt	50	63	63	64	20087	37573	20087	37573	20192	39711	312,812	590,453	327,547	600,609	332,469	654,828
WeeMag_C61_85_y.txt	51	74	74	74	20612	56664	20612	56664	24012	73002	338,235	928,016	343,485	949,578	408,281	1220,468
WeeMag_C61_90_d.txt	50	60	60	60	24369	42474	24369	42474	22004	31315	366,172	642,859	373,906	672,719	351,704	509,781
WeeMag_C61_90_r.txt	51	69	69	68	23696	43568	23696	43568	20236	44882	376,438	691,172	382,141	706,984	327,516	737,969
WeeMag_C61_90_y.txt	51	94	94	94	24795	41165	24795	41165	26312	56002	439,25	730,718	448,531	740,625	467,891	994,438
WeeMag_C61_95_d.txt	50	61	61	60	23008	53044	23008	53044	23205	40933	345,843	800,015	352,859	838,953	369,063	650,031
WeeMag_C61_95_r.txt	51	81	81	82	27669	54293	27669	54293	33495	66034	456,766	895,36	468,484	937,094	574,078	1112,531
WeeMag_C61_95_y.txt	52	111	111	111	31941	61631	31941	61631	26445	61631	601,922	1145,468	610,906	1173,172	512,89	1154,188
WeeMag_C62_85_d.txt	49	59	59	59	20656	50819	20656	50819	20562	40931	308,922	760,015	316,781	775,813	334,532	659,828

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.7. WeeMag Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
WeeMag_C62_85_r.txt	49	62	62	62	22722	56659	22722	56659	21144	48974	349,438	871,234	357,906	887,172	347,813	791,25
WeeMag_C62_85_y.txt	50	70	70	70	21306	61448	21306	61448	29375	45073	345,25	992,828	361,281	1009,907	487,922	773,329
WeeMag_C62_90_d.txt	49	60	60	60	25836	43120	25836	43120	22004	62089	389,047	656,438	407,812	668,984	350,829	990,953
WeeMag_C62_90_r.txt	50	66	66	67	26683	32244	26683	32244	22256	56624	420,64	500,469	430,062	509,031	359	914,391
WeeMag_C62_90_y.txt	50	89	89	88	21040	37903	21040	37903	25019	58816	357,687	654,203	363,734	668,157	433,625	1035,297
WeeMag_C62_95_d.txt	49	60	60	60	30060	56332	30060	56332	26201	40045	450,687	858,937	462,328	879,782	416,875	636,219
WeeMag_C62_95_r.txt	50	78	78	78	26913	41911	26913	41911	20219	49831	437,453	691,954	445,141	706,578	336,922	842,36
WeeMag_C62_95_y.txt	51	107	107	107	20348	60558	20348	60558	26254	60558	380,047	1111,297	386,968	1131,907	487,063	1121,078
WeeMag_C63_85_d.txt	48	59	59	59	21900	38775	21900	38775	21470	45127	326	587	330,719	601,672	349,641	716,765
WeeMag_C63_85_r.txt	49	62	62	62	22088	36145	22088	36145	25141	50861	341,985	554,984	349,015	562,781	413,156	823,078
WeeMag_C63_85_y.txt	49	67	67	67	39465	67657	39465	67657	24157	50506	631,438	1083,297	644,078	1102,266	416,656	838,188
WeeMag_C63_90_d.txt	48	59	59	59	20424	43336	20424	43336	25406	43084	304,593	657,157	312,344	673,328	404,235	714,203
WeeMag_C63_90_r.txt	49	64	64	66	23392	58120	23392	58120	22009	49274	363,328	898,672	370,5	909,844	354,781	794,344
WeeMag_C63_90_y.txt	50	82	82	82	20038	50742	20038	50742	20038	62339	337,781	841,922	344,218	862,937	352,61	1057,922
WeeMag_C63_95_d.txt	48	60	60	60	23736	41315	23736	41315	25791	32901	360,313	616,719	369,25	625,391	418,703	521,406
WeeMag_C63_95_r.txt	49	75	75	76	22937	54395	22937	54395	23257	67083	373,829	872,625	379,234	882,438	389,813	1121,281
WeeMag_C63_95_y.txt	50	104	104	104	32030	57742	32030	57742	23720	78058	582,937	1066,078	589,641	1089,14	442,14	1431,5
WeeMag_C69_85_d.txt	44	54	54	55	20371	37129	20371	37129	25136	59399	297,25	541,078	303,39	548,5	390,312	923,406
WeeMag_C69_85_r.txt	44	58	58	58	20654	42576	20654	42576	21521	39121	316,5	658,157	322,969	670,687	347,265	641,437
WeeMag_C69_85_y.txt	45	61	61	60	20063	46128	20063	46128	20299	70229	310,063	723,953	314,562	738,234	337,922	1170,5
WeeMag_C69_90_d.txt	44	56	56	55	21402	44431	21402	44431	33135	46509	318,5	661,125	324,469	677,14	525,953	724,938
WeeMag_C69_90_r.txt	45	59	59	59	21111	54802	21111	54802	31569	53630	324,625	837,531	331,312	861,266	518,844	864,484
WeeMag_C69_90_y.txt	45	64	64	63	23312	41799	23312	41799	20359	38808	362,829	660,688	367,828	677,016	336,453	668,438
WeeMag_C69_95_d.txt	44	56	56	56	26744	74838	26744	74838	25091	53905	392,672	1116,375	400,438	1144,047	392,563	881,531
WeeMag_C69_95_r.txt	45	63	63	63	24040	45948	24040	45948	21065	76214	370	705,657	377,375	714,922	343,828	1222,281
WeeMag_C69_95_y.txt	46	78	78	77	20061	40180	20061	40180	21209	43336	332,969	656,875	340,375	664,828	372,938	741,219

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.8. Lutz2 Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Lutz2_C20_85_d.txt	48	56	56	56	33348	71460	33348	71460	28167	60357	594,65	1274,25	606,2546	1299,117	518,875	1111,875
Lutz2_C20_85_r.txt	49	65	65	65	26164	56066	26164	56064	18002	38576	495,2724	1061,298	505,2908	1082,766	348,9605	747,7725
Lutz2_C20_85_y.txt	49	70	70	69	29380	62958	29380	62957	25861	55416	561,498	1203,21	572,5566	1226,907	506,0125	1084,3125
Lutz2_C20_90_d.txt	48	58	58	58	23082	49462	23082	49461	15190	32550	415,2309	889,7805	423,5875	907,6875	281,5316	603,282
Lutz2_C20_90_r.txt	49	69	69	69	52202	111862	52202	111860	15803	33863	1002,6954	2148,633	1022,0441	2190,0945	310,1112	664,524
Lutz2_C20_90_y.txt	50	76	76	76	47370	101508	47370	101507	19922	42689	931,4263	1995,9135	950,6112	2037,024	400,575	858,375
Lutz2_C20_95_d.txt	49	60	60	61	14557	31194	14557	31193	14840	31800	263,7033	565,0785	269,773	578,085	276,6533	592,8285
Lutz2_C20_95_r.txt	50	76	76	75	42024	90052	42024	90051	33521	71831	823,725	1765,125	840,9184	1801,968	670,9171	1437,6795
Lutz2_C20_95_y.txt	51	85	85	85	21972	47083	21972	47082	17196	36848	447,2776	958,452	455,5803	976,2435	356,8026	764,577
Lutz2_C21_85_d.txt	46	53	53	53	30015	64318	30015	64317	21427	45915	528,4454	1132,383	540,0283	1157,2035	389,6158	834,891
Lutz2_C21_85_r.txt	47	61	61	61	14838	31796	14838	31794	30270	64863	276,1171	591,6795	281,6947	603,6315	578,0901	1238,7645
Lutz2_C21_85_y.txt	47	65	65	65	50655	108547	50655	108545	27566	59070	950,6658	2037,141	970,8013	2080,2885	531,8684	1139,718
Lutz2_C21_90_d.txt	46	54	54	54	17533	37571	17533	37571	26068	55860	309,575	663,375	316,8046	678,867	476,0434	1020,093
Lutz2_C21_90_r.txt	47	65	65	65	24641	52803	24641	52802	14084	30179	466,3533	999,3285	475,475	1018,875	272,9783	584,9535
Lutz2_C21_90_y.txt	47	70	70	70	39881	85460	39881	85458	22293	47771	767,2434	1644,093	782,3592	1676,484	439,152	941,04
Lutz2_C21_95_d.txt	46	57	57	57	43319	92827	43319	92825	32488	69617	772,6467	1655,6715	789,5013	1691,7885	598,3362	1282,149
Lutz2_C21_95_r.txt	48	70	70	70	19575	41947	19575	41946	23537	50436	376,6658	807,141	384,1467	823,1715	462,4375	990,9375
Lutz2_C21_95_y.txt	48	79	79	79	32544	69738	32544	69737	21880	46886	645,3566	1382,907	657,825	1409,625	442,5533	948,3285
Lutz2_C22_85_d.txt	44	50	50	51	38671	82867	38671	82865	23642	50661	670,95	1437,75	686,4375	1470,9375	424,9	910,5
Lutz2_C22_85_r.txt	45	58	58	58	18800	40286	18800	40284	38527	82557	344,3342	737,859	352,0125	754,3125	726,2941	1556,3445
Lutz2_C22_85_y.txt	45	62	62	62	16293	34914	16293	34913	14084	30179	302,4875	648,1875	308,8099	661,7355	269,325	577,125
Lutz2_C22_90_d.txt	44	52	52	52	39295	84204	39295	84203	16016	34320	685,1138	1468,101	701,1046	1502,367	289,198	619,71
Lutz2_C22_90_r.txt	45	61	61	61	20583	44107	20583	44105	17006	36440	383,1401	821,0145	391,475	838,875	325,3355	697,1475
Lutz2_C22_90_y.txt	45	66	66	66	18483	39607	18483	39605	30014	64314	348,3375	746,4375	355,4796	761,742	581,0875	1245,1875
Lutz2_C22_95_d.txt	44	53	53	53	24526	52556	24526	52554	23715	50817	430,4678	922,431	440,125	943,125	430,0954	921,633
Lutz2_C22_95_r.txt	45	66	66	68	24536	52578	24536	52577	18527	39701	466,7138	1000,101	476,175	1020,375	361,2329	774,0705
Lutz2_C22_95_y.txt	46	74	74	75	29176	62520	29176	62520	17438	37367	568,0171	1217,1795	579,6546	1242,117	347,8888	745,476
Lutz2_C23_85_d.txt	42	48	48	48	30252	64826	28267	60572	30899	66212	518,9408	1112,016	519,7066	1113,657	550,473	1179,585
Lutz2_C23_85_r.txt	43	54	54	54	28267	60573	30252	64826	14590	31263	508,5171	1089,6795	530,873	1137,585	270,8342	580,359
Lutz2_C23_85_y.txt	43	58	58	58	29422	63048	29422	63047	28447	60957	538,6829	1154,3205	550,1671	1178,9295	538,4204	1153,758
Lutz2_C23_90_d.txt	42	49	49	49	36025	77197	36025	77195	22189	47547	620,6921	1330,0545	635,0638	1360,851	396,102	848,79
Lutz2_C23_90_y.txt	43	62	62	62	28262	60562	28262	60561	27137	58151	525,5033	1126,0785	536,6375	1149,9375	511,0987	1095,2115

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.8. (Devam) Lutz2 Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Lutz2_C23_90_r.txt	43	57	57	57	21801	46717	21801	46716	14854	31829	399,1316	855,282	407,7605	873,7725	284,1342	608,859
Lutz2_C23_95_d.txt	42	51	51	51	24440	52372	24440	52371	18583	39819	423,6316	907,782	433,552	929,04	356,8684	764,718
Lutz2_C23_95_r.txt	43	62	62	63	33836	72506	33836	72504	36858	78980	634,452	1359,54	647,7625	1388,0625	662,4184	1419,468
Lutz2_C23_95_y.txt	44	69	69	68	41554	89045	41554	89043	33563	71919	791,7112	1696,524	807,8875	1731,1875	655,3309	1404,2805
Lutz2_C24_85_d.txt	40	46	46	46	14442	30948	14442	30947	29792	63840	244,4099	523,7355	250,0862	535,899	524,6605	1124,2725
Lutz2_C24_85_r.txt	41	52	52	51	41538	89010	41538	89009	15022	32189	739,2553	1584,1185	756,1092	1620,234	276,7513	593,0385
Lutz2_C24_85_y.txt	41	55	55	54	25392	54412	25392	54411	17862	38274	458,4671	982,4295	468,475	1003,875	334,0421	715,8045
Lutz2_C24_90_d.txt	40	47	47	47	19928	42703	19928	42702	42096	90204	339,2046	726,867	347,277	744,165	744,5921	1595,5545
Lutz2_C24_90_y.txt	41	54	54	54	40451	86681	40451	86679	17602	37718	727,2783	1558,4535	742,6342	1591,359	326,375	699,375
Lutz2_C24_90_y.txt	42	58	58	59	16690	35765	16690	35763	41165	88209	306,4796	656,742	313,1184	670,968	781,1559	1673,9055
Lutz2_C24_95_d.txt	41	48	48	48	21140	45300	21140	45300	26105	55938	362,2717	776,2965	370,4862	793,899	463,7171	993,6795
Lutz2_C24_95_r.txt	42	58	58	59	16677	35737	16677	35736	22474	48158	306,0638	655,851	312,4079	669,4455	424,2763	909,1635
Lutz2_C24_95_y.txt	42	65	65	65	23839	51084	23839	51083	19791	42408	448,5362	961,149	457,3849	980,1105	382,0691	818,7195
Lutz2_C25_85_d.txt	39	44	44	44	14220	30472	14220	30471	34396	73706	237,4204	508,758	242,9658	520,641	598,3908	1282,266
Lutz2_C25_85_r.txt	39	49	49	49	21861	46845	21861	46845	18268	39144	384,6388	824,226	392,9625	842,0625	332,5105	712,5225
Lutz2_C25_85_y.txt	40	52	52	52	14242	30519	14242	30518	35623	76335	254,4066	545,157	259,875	556,875	659,9796	1414,242
Lutz2_C25_90_d.txt	39	45	45	45	29566	63356	29566	63356	17062	36560	496,0599	1062,9855	506,9638	1086,351	297,5224	637,548
Lutz2_C25_90_r.txt	40	51	51	52	25404	54438	25404	54437	33572	71940	452,4296	969,492	462,4809	991,0305	617,9803	1324,2435
Lutz2_C25_90_y.txt	40	55	55	55	22990	49265	22990	49263	18791	40266	417,2217	894,0465	426,0046	912,867	352,6362	755,649
Lutz2_C25_95_d.txt	39	46	46	47	33518	71825	33518	71823	22530	48278	567,4921	1216,0545	580,1908	1243,266	396,3197	849,2565
Lutz2_C25_95_r.txt	40	56	56	56	32270	69150	32270	69149	17101	36644	583,7125	1250,8125	596,5533	1278,3285	319,3309	684,2805
Lutz2_C25_95_y.txt	41	62	62	61	25016	53606	25016	53604	25206	54012	464,7678	995,931	474,7638	1017,351	482,5954	1034,133
Lutz2_C26_85_d.txt	37	42	42	42	16642	35662	16642	35661	33699	72212	274,8704	589,008	281,3888	602,976	580,7375	1244,4375
Lutz2_C26_85_r.txt	38	47	47	47	21139	45298	21139	45297	45200	96857	367,2592	786,984	376,4467	806,6715	815,4237	1747,3365
Lutz2_C26_85_y.txt	38	49	49	50	28649	61391	28649	61391	26472	56724	507,2375	1086,9375	518,8974	1111,923	487,6263	1044,9135
Lutz2_C26_90_d.txt	37	43	43	43	34986	74970	34986	74969	15983	34248	579,9829	1242,8205	593,8296	1272,492	276,2158	591,891
Lutz2_C26_90_r.txt	38	49	49	49	41969	89934	41969	89933	21875	46874	737,4829	1580,3205	754,9612	1617,774	398,4638	853,851
Lutz2_C26_95_d.txt	37	44	44	44	15291	32767	15291	32765	32694	70058	254,9421	546,3045	261,1987	559,7115	606,3862	1299,399
Lutz2_C26_90_y.txt	38	52	52	52	28927	61987	28927	61986	19154	41043	517,6822	1109,319	529,4408	1134,516	352,9645	756,3525
Lutz2_C26_95_r.txt	39	53	53	53	15345	32883	15345	32882	29491	63194	273,7329	586,5705	280,3066	600,657	512,3342	1097,859
Lutz2_C26_95_y.txt	39	58	58	58	16769	35934	16769	35933	39344	84308	307,6395	659,2275	314,3	673,5	745,2592	1596,984
Lutz2_C28_85_d.txt	35	39	39	39	19504	41795	19504	41793	14946	32027	316,3237	677,8365	323,9467	694,1715	253,4434	543,093
Lutz2_C28_85_r.txt	35	44	44	44	22644	48523	22644	48522	19446	41669	384,7592	824,484	394,0237	844,3365	343,8421	736,8045

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.8. (Devam) Lutz2 Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Lutz2_C28_85_y.txt	35	45	45	45	26593	56985	26593	56984	27499	58925	458,227	981,915	469,3066	1005,657	494,9987	1060,7115
Lutz2_C28_90_d.txt	35	40	40	40	49684	106466	49684	106466	17003	36435	808,2158	1731,891	828,6033	1775,5785	289,1224	619,548
Lutz2_C28_90_r.txt	35	45	45	45	20782	44533	20782	44532	17398	37281	356,3875	763,6875	365,0066	782,157	310,4283	665,2035
Lutz2_C28_90_y.txt	36	48	48	48	19614	42030	19614	42029	36149	77462	343,7112	736,524	351,9033	754,0785	659,7178	1413,681
Lutz2_C28_95_d.txt	35	41	41	41	14994	32130	14994	32129	16884	36179	244,8355	524,6475	250,6112	537,024	287,9408	617,016
Lutz2_C28_95_r.txt	36	48	48	48	34250	73393	34250	73392	30059	64412	598,1612	1281,774	611,9862	1311,399	544,2717	1166,2965
Lutz2_C28_95_y.txt	36	52	52	53	28979	62098	28979	62097	17157	36765	516,3375	1106,4375	528,2921	1132,0545	316,9691	679,2195
Lutz2_C29_85_d.txt	33	37	37	37	31458	67410	31458	67409	21397	45851	506,352	1085,04	519,3125	1112,8125	374,7191	802,9695
Lutz2_C29_85_r.txt	34	41	41	42	15102	32362	15102	32360	39480	84600	253,6184	543,468	260,0612	557,274	666,0724	1427,298
Lutz2_C29_85_y.txt	34	43	43	43	20066	42999	20066	42998	67499	144641	342,1467	733,1715	350,5355	751,1475	1203,5954	2579,133
Lutz2_C29_90_d.txt	34	38	38	38	15063	32278	15063	32277	14350	30749	243,425	521,625	249,3855	534,3975	242,3533	519,3285
Lutz2_C29_90_r.txt	34	44	44	44	18778	40239	18778	40238	19831	42495	318,5651	682,6395	326,4191	699,4695	350,7217	751,5465
Lutz2_C29_90_y.txt	35	46	46	46	15513	33243	15513	33242	25557	54765	269,1178	576,681	275,8875	591,1875	462,525	991,125
Lutz2_C29_95_d.txt	34	39	39	39	14528	31132	14528	31130	26680	57171	235,4296	504,492	241,6092	517,734	453,1191	970,9695
Lutz2_C29_95_r.txt	35	46	46	46	14075	30161	14075	30159	16445	35238	242,5717	519,7965	248,6309	532,7805	294,0329	630,0705
Lutz2_C29_95_y.txt	35	50	50	50	14350	30750	14350	30749	18053	38685	254,0888	544,476	260,0717	557,2965	331,8658	711,141

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.9. Lutz3 Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	r		C*		r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Lutz3_C143_85_d.txt	23	25	25	25	14915	31961	14915	31961	26010	55734	227,6855	487,8975	233,0237	499,3365	418,6658	897,141
Lutz3_C143_85_r.txt	24	27	27	27	31237	66935	31237	66935	41719	89397	486,2809	1042,0305	497,6888	1066,476	678,7487	1454,4615
Lutz3_C143_85_y.txt	24	29	29	29	33493	71769	33493	71769	22565	48353	529,8888	1135,476	542,1066	1161,657	376,348	806,46
Lutz3_C143_90_d.txt	23	26	26	26	42901	91929	42901	91929	21467	46001	656,8184	1407,468	672,4592	1440,984	346,3796	742,242
Lutz3_C143_90_r.txt	24	28	28	28	33092	70910	33092	70910	18613	39884	517,3329	1108,5705	529,6158	1134,891	304,2928	652,056
Lutz3_C143_90_y.txt	24	30	30	31	30469	65289	30469	65289	26981	57815	484,3013	1037,7885	495,4579	1061,6955	450,8112	966,024
Lutz3_C143_95_d.txt	23	27	27	27	25721	55116	25721	55116	16366	35069	393,575	843,375	403,3204	864,258	263,7362	565,149
Lutz3_C143_95_r.txt	24	30	30	30	34157	73193	34157	73193	32598	69852	536,4079	1149,4455	548,9204	1176,258	534,1329	1144,5705
Lutz3_C143_95_y.txt	24	33	33	33	18333	39284	18333	39284	31450	67392	293,9342	629,859	301,0875	645,1875	528,9816	1133,532
Lutz3_C151_85_d.txt	22	24	24	24	16420	35186	16420	35186	18769	40218	248,1171	531,6795	254,4605	545,2725	299,5671	641,9295
Lutz3_C151_85_r.txt	22	26	26	26	21368	45788	21368	45788	15098	32352	330,0605	707,2725	338,275	724,875	244,4638	523,851
Lutz3_C151_85_y.txt	23	27	27	27	27091	58052	27091	58052	17256	36977	424,7145	910,1025	434,3829	930,8205	285,1401	611,0145
Lutz3_C151_90_d.txt	22	24	24	25	28102	60218	28102	60218	17942	38447	426,4967	913,9215	436,9862	936,399	286,8138	614,601
Lutz3_C151_90_r.txt	23	27	27	27	21838	46796	21838	46796	26648	57102	338,1	724,5	346,3796	742,242	430,2921	922,0545
Lutz3_C151_90_y.txt	23	29	29	29	24145	51738	24145	51738	47740	102299	380,5158	815,391	389,7691	835,2195	792,1704	1697,508
Lutz3_C151_95_d.txt	22	25	25	25	15490	33192	15490	33192	33460	71699	235,3533	504,3285	241,1605	516,7725	534,9099	1146,2355
Lutz3_C151_95_r.txt	23	28	28	28	17483	37463	17483	37463	44740	95870	272,2671	583,4295	278,7092	597,234	726,0967	1555,9215
Lutz3_C151_95_y.txt	23	31	31	31	33652	72111	33652	72111	16411	35166	535,0079	1146,4455	547,3454	1172,883	274,3125	587,8125
Lutz3_C158_85_d.txt	21	23	23	23	24587	52685	24587	52685	14943	32021	367,6967	787,9215	376,5678	806,931	235,4842	504,609
Lutz3_C158_85_r.txt	21	24	24	25	14790	31692	14790	31692	36709	78662	227,0191	486,4695	232,4217	498,0465	592,0474	1268,673
Lutz3_C158_85_y.txt	22	26	26	26	22065	47282	22065	47282	34394	73700	343,2513	735,5385	351,4217	753,0465	564,1125	1208,8125
Lutz3_C158_90_d.txt	21	23	23	23	20891	44766	20891	44766	22973	49227	312,8125	670,3125	320,3921	686,5545	363,1362	778,149
Lutz3_C158_90_r.txt	22	25	25	26	17066	36570	17066	36570	20782	44532	262,7625	563,0625	268,9862	576,399	335,6171	719,1795
Lutz3_C158_90_y.txt	22	27	27	27	24643	52806	24643	52806	16779	35955	385,525	826,125	394,3184	844,968	276,9053	593,3685
Lutz3_C158_95_d.txt	21	24	24	24	20398	43709	20398	43709	20398	43709	306,8079	657,4455	314,0375	672,9375	323,925	694,125
Lutz3_C158_95_r.txt	22	27	27	27	18859	40412	18859	40412	26648	57102	291,2434	624,093	298,1125	638,8125	430,5	922,5
Lutz3_C158_95_y.txt	22	29	29	29	18114	38814	18114	38814	23247	49814	285,4684	611,718	292,1625	626,0625	386,1592	827,484
Lutz3_C166_85_d.txt	20	22	22	22	16309	34947	16309	34947	22224	47622	241,9046	518,367	247,6467	530,6715	348,5566	746,907
Lutz3_C166_85_r.txt	20	23	23	23	28423	60905	28423	60905	27552	59040	430,1395	921,7275	439,8401	942,5145	437,3579	937,1955
Lutz3_C166_85_y.txt	21	25	25	25	17536	37577	17536	37577	31650	67820	270,1342	578,859	276,5105	592,5225	515,3533	1104,3285
Lutz3_C166_90_d.txt	20	22	22	22	20294	43487	20294	43487	20777	44522	301,0434	645,093	308,3724	660,798	326,0138	698,601
Lutz3_C166_90_r.txt	21	24	24	24	25862	55418	25862	55418	26449	56676	393,5204	843,258	402,7079	862,9455	422,8875	906,1875

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.9. (Devam) Lutz3 Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	r		C*		CV		r		C*		CV		r		C*	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Lutz3_C166_90_y.txt	21	26	26	26	25741	55158	25741	55158	23534	50430	399,9303	856,9935	408,8987	876,2115	385,5908	826,266
Lutz3_C166_95_d.txt	20	22	22	23	24837	53222	24837	53222	28405	60867	369,8954	792,633	378,5796	811,242	446,9059	957,6555
Lutz3_C166_95_r.txt	21	25	25	26	14935	32003	14935	32003	20121	43115	229,25	491,25	234,5217	502,5465	323,925	694,125
Lutz3_C166_95_y.txt	21	28	28	28	25369	54362	25369	54362	35379	75812	396,9217	850,5465	405,825	869,625	583,275	1249,875
Lutz3_C176_85_d.txt	19	20	20	21	17253	36969	17253	36969	14284	30608	253,9362	544,149	259,9401	557,0145	222,8296	477,492
Lutz3_C176_85_r.txt	19	22	22	22	14986	32112	14986	32112	15184	32537	224,7987	481,7115	230,1138	493,101	239,7283	513,7035
Lutz3_C176_85_y.txt	19	23	23	23	19707	42228	19707	42228	29501	63215	300,1691	643,2195	307,0375	657,9375	476,3612	1020,774
Lutz3_C176_90_r.txt	19	22	22	22	20020	42900	20020	42900	22051	47252	301,0546	645,117	308,175	660,375	348,3158	746,391
Lutz3_C176_90_d.txt	19	21	21	21	22837	48936	22837	48936	20533	43998	336,4487	720,9615	344,498	738,21	319,8125	685,3125
Lutz3_C176_90_y.txt	20	24	24	24	30538	65438	30538	65438	30960	66342	467,7204	1002,258	478,527	1025,415	500,6967	1072,9215
Lutz3_C176_95_d.txt	19	21	21	21	14961	32058	14961	32058	43976	94233	220,5875	472,6875	225,7612	483,774	685,1026	1468,077
Lutz3_C176_95_r.txt	20	23	23	23	17113	36669	17113	36669	26630	57063	258,9237	554,8365	264,95	567,75	423,1717	906,7965
Lutz3_C176_95_y.txt	20	26	26	26	32415	69459	32415	69459	20382	43676	502,9283	1077,7035	514,4125	1102,3125	333,4296	714,492

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.10. Mukherje Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Mukherje_C305_85_d.txt	28	30	30	30	32847	70386	32847	70386	19423	41619	651,9191	1396,9695	675,8612	1448,274	439,9395	942,7275
Mukherje_C305_85_r.txt	28	33	33	33	22965	49211	22965	49211	29561	63345	463,7934	993,843	479,9697	1028,5065	679,9296	1456,992
Mukherje_C305_85_y.txt	28	36	36	36	14777	31664	14777	31664	16013	34313	303,1875	649,6875	313,1737	671,0865	376,4145	806,6025
Mukherje_C305_90_d.txt	28	31	31	31	15208	32588	15208	32588	20953	44898	302,8046	648,867	313,425	671,625	470,3559	1007,9055
Mukherje_C305_90_r.txt	28	34	34	34	17190	36836	17190	36836	29060	62270	349,6934	749,343	361,6487	774,9615	666,925	1429,125
Mukherje_C305_90_y.txt	29	37	37	37	27083	58034	27083	58034	30954	66329	555,7349	1190,8605	575,7717	1233,7965	730,002	1564,29
Mukherje_C305_95_d.txt	28	32	32	32	18564	39779	18564	39779	20772	44511	370,3224	793,548	384,3217	823,5465	467,7197	1002,2565
Mukherje_C305_95_r.txt	29	40	40	40	28404	60866	28404	60866	22638	48509	588,2072	1260,444	607,1408	1301,016	534,1112	1144,524
Mukherje_C305_95_y.txt	29	40	40	40	28404	60866	28404	60866	22638	48509	588,2072	1260,444	607,1408	1301,016	534,1112	1144,524
Mukherje_C317_85_d.txt	27	29	29	29	18365	39353	18365	39353	15580	33384	363,6829	779,3205	376,5454	806,883	350,5467	751,1715
Mukherje_C317_85_r.txt	27	31	31	31	43459	93125	43459	93125	16436	35220	872,5724	1869,798	903,9842	1937,109	377,027	807,915
Mukherje_C317_85_y.txt	27	34	34	33	21767	46643	21767	46643	14224	30479	442,7059	948,6555	458,1171	981,6795	336,6888	721,476
Mukherje_C317_90_d.txt	27	30	30	30	26966	57783	26966	57783	21298	45638	533,8592	1143,984	553,4375	1185,9375	481,4579	1031,6955
Mukherje_C317_90_r.txt	27	33	33	33	27733	59427	27733	59427	29375	62946	559,3658	1198,641	578,802	1240,29	675,5987	1447,7115
Mukherje_C317_90_y.txt	28	36	36	36	19350	41463	19350	41463	28686	61470	395,1388	846,726	408,5375	875,4375	676,7684	1450,218
Mukherje_C317_95_d.txt	27	30	30	30	25142	53874	25142	53874	14169	30362	497,952	1067,04	515,5171	1104,6795	319,1888	683,976
Mukherje_C317_95_r.txt	27	35	35	35	17986	38541	17986	38541	17368	37217	364,6342	781,359	377,4645	808,8525	400,2362	857,649
Mukherje_C317_95_y.txt	28	38	38	38	25646	54954	25646	54954	50533	108285	526,0829	1127,3205	544,698	1167,21	1196,3763	2563,6635
Mukherje_C333_85_d.txt	25	28	28	28	19675	42159	19675	42159	19561	41915	387,5158	830,391	402,2158	861,891	442,2355	947,6475
Mukherje_C333_85_r.txt	26	30	30	30	25792	55268	25792	55268	29793	63842	515,8783	1105,4535	534,3296	1144,992	688,723	1475,835
Mukherje_C333_85_y.txt	26	32	32	32	22987	49257	22987	49257	16884	36180	465,1829	996,8205	481,7638	1032,351	400,6842	858,609
Mukherje_C333_90_d.txt	25	28	28	28	15948	34173	15948	34173	25731	55137	314,65	674,25	326,3092	699,234	582,8809	1249,0305
Mukherje_C333_90_r.txt	26	31	31	31	25595	54845	25595	54845	25021	53615	512,4546	1098,117	531,0487	1137,9615	573,9783	1229,9535
Mukherje_C333_90_y.txt	26	34	34	34	16148	34602	16148	34602	19238	41223	328,6059	704,1555	340,5717	729,7965	456,3342	977,859
Mukherje_C333_95_d.txt	26	29	29	29	28971	62079	28971	62079	24230	51920	571,0908	1223,766	591,6645	1267,8525	542,0842	1161,609
Mukherje_C333_95_r.txt	26	33	33	33	19070	40863	19070	40863	17143	36735	383,8296	822,492	397,3046	851,367	391,6612	839,274
Mukherje_C333_95_y.txt	27	36	36	36	18229	39062	18229	39062	23067	49428	372,0717	797,2965	385,0546	825,117	542,7513	1163,0385
Mukherje_C348_85_d.txt	24	27	27	27	16527	35414	16527	35414	24502	52503	325,073	696,585	337,1375	722,4375	554,2691	1187,7195
Mukherje_C348_85_r.txt	25	29	29	29	20059	42983	20059	42983	24907	53372	400,1046	857,367	414,5638	888,351	568,127	1217,415
Mukherje_C348_85_y.txt	25	30	30	30	17346	37170	17346	37170	27110	58092	349,4645	748,8525	360,8829	773,3205	636,0599	1362,9855
Mukherje_C348_90_d.txt	24	27	27	27	36042	77232	36042	77232	14112	30240	709,5928	1520,556	734,0921	1573,0545	317,1546	679,617
Mukherje_C348_90_r.txt	25	29	29	30	20670	44292	20670	44292	29792	63839	411,9941	882,8445	427,0217	915,0465	676,452	1449,54
Mukherje_C348_90_y.txt	25	32	32	32	22411	48023	22411	48023	25600	54857	452,3533	969,3285	469,0329	1005,0705	599,9322	1285,569

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.10. (Devam) Mukherje Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Mukherje_C348_95_d.txt	24	28	28	28	39284	84180	39284	84180	17356	37191	773,6638	1657,851	800,8658	1716,141	388,0401	831,5145
Mukherje_C348_95_r.txt	25	31	31	31	26121	55973	26121	55973	17031	36494	522,5941	1119,8445	541,0783	1159,4535	391,6388	839,226
Mukherje_C348_95_y.txt	25	34	34	35	21066	45140	21066	45140	20375	43661	428,2362	917,649	443,3842	950,109	484,4546	1038,117
Mukherje_C366_85_d.txt	23	25	25	25	37215	79746	37215	79746	18453	39542	726,3263	1556,4135	753,7467	1615,1715	417,9763	895,6635
Mukherje_C366_85_r.txt	23	27	27	27	14076	30162	14076	30162	20195	43275	278,7309	597,2805	289,3184	619,968	460,9822	987,819
Mukherje_C366_85_y.txt	24	28	28	28	42667	91428	42667	91428	26839	57512	852,2395	1826,2275	882,9737	1892,0865	630,1974	1350,423
Mukherje_C366_90_d.txt	23	25	25	25	14591	31266	14591	31266	16256	34833	285,075	610,875	295,6401	633,5145	362,3809	776,5305
Mukherje_C366_90_r.txt	24	28	28	28	22330	47849	22330	47849	28927	61986	442,7388	948,726	458,5875	982,6875	656,523	1406,835
Mukherje_C366_90_y.txt	24	30	30	30	23748	50888	23748	50888	35090	75192	476,0875	1020,1875	492,527	1055,415	818,65	1754,25
Mukherje_C366_95_d.txt	23	26	26	26	17410	37307	17410	37307	20845	44667	340,4079	729,4455	352,7342	755,859	464,6908	995,766
Mukherje_C366_95_r.txt	24	30	30	30	18954	40614	18954	40614	28264	60566	376,5349	806,8605	390,0855	835,8975	640,4013	1372,2885
Mukherje_C366_95_y.txt	24	32	32	32	24794	53129	24794	53129	14631	31352	500,3572	1072,194	517,9237	1109,8365	342,5842	734,109
Mukherje_C385_85_d.txt	22	24	24	24	30294	64916	30294	64916	22487	48186	588,1204	1260,258	610,6625	1308,5625	501,2441	1074,0945
Mukherje_C385_85_r.txt	22	25	25	25	22057	47264	22057	47264	17811	38165	434,4928	931,056	450,3513	965,0385	402,7079	862,9455
Mukherje_C385_85_y.txt	23	27	27	27	35374	75801	35374	75801	25998	55710	703,6533	1507,8285	729,2355	1562,6475	604,8987	1296,2115
Mukherje_C385_90_d.txt	22	24	24	24	45049	96533	45049	96533	45141	96731	875,1855	1875,3975	908,3809	1946,5305	1003,0342	2149,359
Mukherje_C385_90_r.txt	22	27	27	27	27045	57953	27045	57953	48713	104385	534,0559	1144,4055	553,7763	1186,6635	1101,4171	2360,1795
Mukherje_C385_90_y.txt	23	28	28	28	30117	64536	30117	64536	27666	59283	600,9829	1287,8205	622,2454	1333,383	643,2776	1378,452
Mukherje_C385_95_d.txt	22	25	25	25	29280	62742	29280	62742	15788	33830	569,2855	1219,8975	590,5592	1265,484	350,3066	750,657
Mukherje_C385_95_r.txt	23	28	28	28	24626	52769	24626	52769	36864	78993	486,5875	1042,6875	504,3941	1080,8445	830,9763	1780,6635
Mukherje_C385_95_y.txt	23	30	30	30	17113	36671	17113	36671	24064	51566	343,4263	735,9135	355,4355	761,6475	559,6941	1199,3445
Mukherje_C406_85_d.txt	21	22	22	22	30468	65288	30468	65288	30511	65381	587,3105	1258,5225	610,2908	1307,766	675,0072	1446,444
Mukherje_C406_85_r.txt	21	24	24	24	28791	61694	28791	61694	57748	123746	564,3638	1209,351	585,4842	1254,609	1302,798	2791,71
Mukherje_C406_85_y.txt	21	25	25	25	49556	106191	49556	106191	19310	41378	979,377	2098,665	1026,6487	2199,9615	448,4151	960,8895
Mukherje_C406_90_d.txt	21	23	23	23	36711	78666	36711	78666	29334	62858	708,9796	1519,242	741,2454	1588,383	649,0197	1390,7565
Mukherje_C406_90_r.txt	21	25	25	25	29956	64190	29956	64190	16733	35856	587,8138	1259,601	609,9184	1306,968	376,6763	807,1635
Mukherje_C406_90_y.txt	22	27	27	27	35000	75000	35000	75000	23536	50433	695,3408	1490,016	720,573	1544,085	546,8645	1171,8525
Mukherje_C406_95_d.txt	21	23	23	23	30200	64713	30200	64713	14959	32054	582,9355	1249,1475	608,9566	1304,907	331,1329	709,5705
Mukherje_C406_95_r.txt	22	26	26	26	17359	37197	17359	37197	14149	30318	341,4138	731,601	355,8296	762,492	318,2375	681,9375
Mukherje_C406_95_y.txt	22	28	28	28	26544	56879	26544	56879	16858	36123	528,7184	1132,968	549,2809	1177,0305	391,1908	838,266
Mukherje_C430_85_d.txt	20	21	21	21	19995	42846	19995	42846	18493	39627	383,4138	821,601	400,6079	858,4455	408,3842	875,109
Mukherje_C430_85_r.txt	20	23	23	23	18485	39611	18485	39611	24839	53225	360,0079	771,4455	376,1954	806,133	564,2763	1209,1635
Mukherje_C430_85_y.txt	20	24	24	24	19533	41855	19533	41855	16982	36389	384,0375	822,9375	402,1283	861,7035	397,0309	850,7805
Mukherje_C430_90_d.txt	20	21	21	21	16922	36261	16922	36261	30068	64431	324,5046	695,367	340,2763	729,1635	665,4816	1426,032

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.10. (Devam) Mukherje Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Mukherje_C430_90_r.txt	20	23	23	23	16840	36086	16840	36086	30068	64431	328,2237	703,3365	343,8862	736,899	678,4309	1453,7805
Mukherje_C430_90_y.txt	20	25	25	25	25937	55578	25937	55578	29623	63477	511,3059	1095,6555	534,9533	1146,3285	687,498	1473,21
Mukherje_C430_95_d.txt	20	22	22	22	25576	54804	25576	54804	21547	46172	490,6559	1051,4055	509,348	1091,46	476,7112	1021,524
Mukherje_C430_95_r.txt	20	24	24	25	36736	78720	36736	78720	14250	30534	718,3645	1539,3525	746,1783	1598,9535	320,4033	686,5785
Mukherje_C430_95_y.txt	21	27	27	27	22472	48153	22472	48153	20878	44738	446,075	955,875	462,9625	992,0625	484,2684	1037,718
Mukherje_C455_85_d.txt	19	20	20	20	38129	81704	38129	81704	17413	37313	728,8309	1561,7805	754,8079	1617,4455	382,5941	819,8445
Mukherje_C455_85_r.txt	19	21	21	21	17881	38315	17881	38315	28489	61047	345,7342	740,859	359,3408	770,016	639,4283	1370,2035
Mukherje_C455_85_y.txt	19	22	22	22	36925	79124	36925	79124	27230	58349	720,5625	1544,0625	750,6191	1608,4695	631,6079	1353,4455
Mukherje_C455_90_d.txt	19	20	20	20	42330	90707	42330	90707	32343	69306	809,4079	1734,4455	842,8553	1806,1185	712,0092	1525,734
Mukherje_C455_90_r.txt	19	22	22	22	19514	41814	19514	41814	23222	49761	377,7375	809,4375	393,9138	844,101	522,025	1118,625
Mukherje_C455_90_y.txt	19	23	23	23	36092	77339	36092	77339	28477	61022	705,523	1511,835	736,9033	1579,0785	658,9954	1412,133
Mukherje_C455_95_d.txt	19	21	21	21	20528	43988	20528	43988	21789	46689	391,7046	839,367	406,8092	871,734	479,6967	1027,9215
Mukherje_C455_95_r.txt	19	23	23	23	16765	35925	16765	35925	15830	33921	324,7671	695,9295	338,9204	726,258	355,0638	760,851
Mukherje_C455_95_y.txt	20	25	25	25	67548	144746	67548	144746	25057	53693	1331,4987	2853,2115	1383,2329	2964,0705	581,1204	1245,258
Mukherje_C487_85_d.txt	17	18	18	18	22467	48143	22467	48143	18805	40296	425,95	912,75	442,9579	949,1955	413,0224	885,048
Mukherje_C487_85_r.txt	18	20	20	20	36330	77849	36330	77849	16784	35966	698,6441	1497,0945	724,9151	1553,3895	376,5783	806,9535
Mukherje_C487_85_y.txt	18	21	21	21	21850	46821	21850	46821	24650	52820	424,8783	910,4535	440,5842	944,109	570,1605	1221,7725
Mukherje_C487_90_d.txt	18	19	19	19	23629	50633	23629	50633	28862	61847	449,1263	962,4135	466,0362	998,649	634,4184	1359,468
Mukherje_C487_90_r.txt	18	21	21	21	29100	62357	29100	62357	20244	43380	559,5842	1199,109	585,6046	1254,867	453,152	971,04
Mukherje_C487_90_y.txt	18	22	22	22	14196	30420	14196	30420	15832	33926	275,8651	591,1395	286,1033	613,0785	366,3625	785,0625
Mukherje_C487_95_d.txt	18	19	19	19	25027	53628	25027	53628	39549	84747	473,8888	1015,476	495,5671	1061,9295	864,2816	1852,032
Mukherje_C487_95_r.txt	18	21	21	21	26690	57192	26690	57192	22020	47186	515,1895	1103,9775	537,7533	1152,3285	493,1171	1056,6795
Mukherje_C487_95_y.txt	18	23	23	23	16002	34290	16002	34290	16801	36002	312,4296	669,492	325,5434	697,593	387,9645	831,3525
Mukherje_C522_85_d.txt	16	17	17	17	25616	54891	25616	54891	30439	65226	482,7592	1034,484	503,6059	1079,1555	664,7263	1424,4135
Mukherje_C522_85_r.txt	17	18	18	18	16868	36144	16868	36144	33285	71325	321,7928	689,556	334,8184	717,468	742,3934	1590,843
Mukherje_C522_85_y.txt	17	19	19	19	48158	103196	48158	103196	41335	88574	928,6263	1989,9135	966,2079	2070,4455	949,0691	2033,7195
Mukherje_C522_90_d.txt	16	17	17	18	37282	79890	37282	79890	22263	47705	702,625	1505,625	734,8362	1574,649	487,8125	1045,3125
Mukherje_C522_90_r.txt	17	19	19	19	25151	53895	25151	53895	18287	39185	479,9592	1028,484	501,6921	1075,0545	407,8592	873,984
Mukherje_C522_90_y.txt	17	20	20	20	16858	36123	16858	36123	32186	68970	325,3796	697,242	339,0401	726,5145	740,9724	1587,798
Mukherje_C522_95_d.txt	16	18	18	18	24116	51677	24116	51677	51286	109898	454,1684	973,218	476,3829	1020,8205	1120,9303	2401,9935
Mukherje_C522_95_r.txt	17	20	20	20	23680	50742	23680	50742	15095	32346	452,9	970,5	475,9783	1019,9535	335,6717	719,2965
Mukherje_C522_95_y.txt	17	21	21	21	17239	36939	17239	36939	15739	33725	333,6921	715,0545	349,3987	748,7115	361,6375	774,9375
Mukherje_C561_85_d.txt	15	16	16	16	18623	39905	18623	39905	14637	31365	349,4967	748,9215	363,7375	779,4375	318,8717	683,2965
Mukherje_C561_85_r.txt	15	17	17	17	14484	31037	14484	31037	21229	45491	275,0566	589,407	287,4375	615,9375	472,8829	1013,3205

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.10. (Devam) Mukherje Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Mukherje_C561_85_y.txt	16	18	18	18	15278	32738	15278	32738	20940	44870	292,4796	626,742	305,4184	654,468	479,675	1027,875
Mukherje_C561_90_d.txt	15	16	16	16	39607	84872	39607	84872	21574	46229	741,6276	1589,202	773,1605	1656,7725	469,1974	1005,423
Mukherje_C561_90_r.txt	16	18	18	18	17631	37779	17631	37779	26876	57591	334,8401	717,5145	351,0171	752,1795	598,7184	1282,968
Mukherje_C561_90_y.txt	16	18	18	18	29090	62336	29090	62336	14740	31584	557,4947	1194,6315	583,3513	1250,0385	337,2467	722,6715
Mukherje_C561_95_d.txt	15	17	17	17	20044	42950	20044	42950	32244	69093	375,4842	804,609	392,4704	841,008	701,1816	1502,532
Mukherje_C561_95_r.txt	16	18	18	18	14222	30476	14222	30476	34240	73371	270,0362	578,649	282,0013	604,2885	759,7513	1628,0385
Mukherje_C561_95_y.txt	16	20	20	20	25296	54206	25296	54206	31059	66555	486,2816	1042,032	507,0408	1086,516	711,9329	1525,5705
Mukherje_C608_85_d.txt	14	15	15	15	34191	73266	34191	73266	15790	33836	640,3138	1372,101	667,9967	1431,4215	345,9421	741,3045
Mukherje_C608_85_r.txt	14	16	16	16	21353	45755	21353	45755	14082	30176	403,9441	865,5945	423,675	907,875	313,9717	672,7965
Mukherje_C608_85_y.txt	14	16	16	16	16366	35069	16366	35069	17907	38372	312,1559	668,9055	324,9309	696,2805	410,9987	880,7115
Mukherje_C608_90_d.txt	14	15	15	15	27317	58535	27317	58535	27374	58658	511,1645	1095,3525	533,4322	1143,069	599,7138	1285,101
Mukherje_C608_90_r.txt	14	16	16	16	14519	31112	14519	31112	34217	73322	274,1921	587,5545	286,5625	614,0625	761,7204	1632,258
Mukherje_C608_90_y.txt	15	17	17	17	29753	63756	29753	63756	22785	48824	568,5526	1218,327	590,9309	1266,2805	522,375	1119,375
Mukherje_C608_95_d.txt	14	15	15	15	47753	102327	47753	102327	38782	83103	892,4671	1912,4295	932,1263	1997,4135	846,3546	1813,617
Mukherje_C608_95_r.txt	15	17	17	17	30247	64815	30247	64815	33878	72596	571,9658	1225,641	597,1441	1279,5945	752,2592	1611,984
Mukherje_C608_95_y.txt	15	18	18	18	15438	33080	15438	33080	38173	81798	295,7066	633,657	308,4592	660,984	872,1454	1868,883

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.11. Arc Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Arc_C10512_85_d.txt	30	33	33	33	21418	42740	21418	42740	20065	44070	508,157	1008,859	513,532	1005,75	513,5	1126,109
Arc_C10512_85_r.txt	30	36	36	36	26387	58222	26387	58222	25280	61307	634,859	1421,156	631,328	1431	651,312	1594,875
Arc_C10512_85_y.txt	30	38	38	38	25577	78506	25577	78506	21605	78506	635,125	1923,984	637,125	1939,593	572,547	1997,562
Arc_C10512_90_d.txt	30	33	33	33	24197	48121	24197	48121	24700	50125	579,578	1165,797	581,141	1176,156	636,812	1294,937
Arc_C10512_90_r.txt	30	38	38	38	21063	41518	21063	41518	23939	50284	518,125	1018,5	522,609	1028,766	619,438	1357,031
Arc_C10512_90_y.txt	31	41	41	41	29112	58193	29112	58193	24957	53886	727,172	1452,157	734,765	1464,766	676,031	1357,156
Arc_C10512_95_d.txt	30	34	34	34	20797	77731	20797	77731	27868	53553	499,562	1887,203	503,843	1901,015	706,485	1305,39
Arc_C10512_95_r.txt	31	41	41	41	21144	57267	21144	57267	21929	72353	524,922	1407,032	530,312	1423,453	568,656	1884,625
Arc_C10512_95_y.txt	31	44	44	44	24194	54791	24194	54791	21694	45548	611,906	1387,391	617,891	1400,547	579,812	1204,782
Arc_C10932_85_d.txt	28	31	31	32	20826	84015	20826	84015	24448	46452	496,141	2017,438	499,766	2030,25	619,937	1176,969
Arc_C10932_85_r.txt	29	35	35	35	21682	49203	21682	49203	21691	61022	522,078	1181,375	527,016	1198,203	530,671	1564,313
Arc_C10932_85_y.txt	29	36	36	36	27027	51989	27027	51989	20008	30598	664,156	1278,422	669,406	1287,578	520,594	796
Arc_C10932_90_d.txt	29	32	32	32	24339	46249	24339	46249	22241	36063	578,906	1097,328	584,985	1113,094	561,078	920,359
Arc_C10932_90_r.txt	29	36	36	36	28781	71311	28781	71311	51578	71311	699,406	1721,031	706,093	1736,437	1336,016	1754,25
Arc_C10932_95_d.txt	29	33	33	33	24649	43204	24649	43204	23075	51763	610,578	1057,407	615,61	1072,203	601,922	1306,796
Arc_C10932_90_y.txt	29	38	38	38	26367	37731	26367	37731	22733	55721	628,36	908,781	633,172	916,735	575,735	1467,843
Arc_C10932_95_r.txt	30	39	39	39	21291	81277	21291	81277	29912	81277	533,063	1986,407	537,015	2001,453	779,953	2016,218
Arc_C10932_95_y.txt	30	42	42	42	28383	44908	28383	44908	28583	56115	704,578	1129,421	713,813	1136,625	754,047	1484,828
Arc_C11388_85_d.txt	27	30	30	30	25057	84819	25057	84819	23637	84819	595,437	2006,422	600,703	2024,656	602,656	2048,86
Arc_C11388_85_r.txt	28	33	33	33	20216	60902	20216	60902	29220	76874	482,328	1476,359	489,454	1489,406	720,547	1966,906
Arc_C11388_85_y.txt	28	35	35	35	25450	56285	25450	56285	26146	35709	622,641	1381,547	627,25	1393,484	649,11	942,359
Arc_C11388_90_d.txt	27	31	31	31	21629	45530	21629	45530	23151	43258	518,203	1072,234	523,313	1091,015	590,172	1094,516
Arc_C11388_90_r.txt	28	35	35	35	24522	60295	24522	60295	24522	45880	589,969	1467,875	590,563	1470,969	601,796	1185,984
Arc_C11388_90_y.txt	28	36	36	37	22289	31115	22289	31115	22289	32654	543,718	767,578	544,469	770,953	554,219	849,938
Arc_C11388_95_d.txt	28	32	32	32	22334	62083	22334	62083	25559	35355	529,86	1487,969	535,687	1498,172	647	877,39
Arc_C11388_95_r.txt	28	37	37	37	20995	34273	20995	34273	29385	42635	510,813	838,797	514,625	839,719	725,063	1096,594
Arc_C11388_95_y.txt	29	40	40	39	20831	52728	20831	52728	22961	84578	520,547	1312,781	521,078	1322,5	608,157	2234,125
Arc_C11884_85_d.txt	26	29	29	29	22468	36972	22468	36972	22489	56367	527,844	881,141	530,5	883,422	570,844	1435,922
Arc_C11884_85_r.txt	27	32	32	32	20150	41570	20150	41570	20150	49437	480,328	1003,375	480,984	1005,469	490,297	1272,938
Arc_C11884_90_d.txt	26	29	29	30	21866	61510	21866	61510	26769	42422	533,796	1482,266	534,781	1488,734	692,609	1067,891
Arc_C11884_85_y.txt	27	33	33	33	20784	31528	20784	31528	24653	39983	491,218	752,25	494,813	753,844	647,75	1044,843
Arc_C11884_90_r.txt	27	33	33	33	23471	38534	23471	38534	23513	58721	575,094	921,016	573,937	921,516	606,297	1497,532
Arc_C11884_90_y.txt	27	35	35	35	25493	53783	25493	53783	22646	62049	625,203	1296,282	627,594	1275,328	587,219	1612,75

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.11. (Devam) Arc Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Arc C11884 95 d.txt	26	30	30	30	26908	61825	26908	61825	29170	47916	637,375	1474,875	626,078	1483,203	702,891	1209,547
Arc C11884 95 r.txt	27	35	35	35	22054	53664	22054	53664	24532	39315	536,062	1288,203	537,688	1294,094	628,375	1016,171
Arc C11884 95 y.txt	28	37	37	38	23270	53964	23270	53964	22193	37883	574,891	1334,688	577,437	1336,859	584,328	1000,625
Arc C12424 85 d.txt	25	27	27	27	20881	47904	20881	47904	21851	39086	490,047	1133,688	482,953	1136,656	548,203	989,453
Arc C12424 85 r.txt	26	30	30	30	30696	56233	30696	56233	24463	62154	726,438	1332,937	729,828	1336,078	620,828	1578,375
Arc C12424 85 y.txt	26	31	31	31	27016	50384	27016	50384	26119	56713	655,297	1223,938	657,188	1199,578	673,203	1483,781
Arc C12424 90 d.txt	25	28	28	28	32119	55295	32119	55295	21599	41274	752,937	1311,203	755,016	1318,937	546,344	1038,672
Arc C12424 90 r.txt	26	32	32	32	20716	46895	20716	46895	20984	60801	492,11	1128,797	494,375	1131,187	539,828	1549,094
Arc C12424 90 y.txt	26	33	33	33	24703	41854	24703	41854	21132	79830	594,407	1018,578	597,063	1024,219	545,859	2064,312
Arc C12424 95 d.txt	25	29	29	29	21073	55557	21073	55557	26741	46060	499,672	1301,734	502,578	1307,078	677,687	1159,61
Arc C12424 95 r.txt	26	33	33	33	20209	57197	20209	57197	20829	67282	487,594	1367,844	476,359	1373,453	536,359	1733,703
Arc C12424 95 y.txt	26	36	36	36	20103	44379	20103	44379	20103	47495	487,656	1076,672	488,516	1080,172	497,859	1250,156
Arc C13014 85 d.txt	24	26	26	26	25117	46183	25117	46183	21476	34001	583,61	1088,734	586,641	1091,531	536,875	850,484
Arc C13014 85 r.txt	24	29	29	29	24064	58139	24064	58139	27566	54163	575,14	1369,844	576,453	1375,875	695,547	1343,921
Arc C13014 85 y.txt	25	30	30	30	20703	38687	20703	38687	25814	35241	501,781	933,593	491,344	938,75	662,969	903,828
Arc C13014 90 d.txt	24	26	26	27	20988	41726	20988	41726	23425	60297	488,171	969,594	490,203	973,672	588,156	1501,219
Arc C13014 90 r.txt	25	30	30	30	23322	51860	23322	51860	24947	66277	558,734	1225,375	559,859	1229,328	631,172	1697,906
Arc C13014 90 y.txt	25	32	32	32	21186	65631	21186	65631	21191	40922	512,812	1594,906	515,203	1561,422	559,484	1050,563
Arc C13014 95 d.txt	24	27	27	27	21586	32104	21586	32104	25954	77992	505,563	747,312	494,407	749,984	665,75	1942,094
Arc C13014 95 y.txt	25	34	34	34	21901	41113	21901	41113	21901	42240	520,484	977,25	521,875	980,406	528,391	1070,468
Arc C13014 95 r.txt	25	32	32	32	27748	55239	27748	55239	22675	44789	678,141	1327,453	662,968	1334,156	592,454	1155,594

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.12. Arc1 Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Arc1_C10578_85_d.txt	14	15	15	15	22601	40293	22601	40293	23944	53480	293,109	530,297	296,406	535,281	334,438	824,969
Arc1_C10578_85_r.txt	15	16	16	16	20753	44693	20753	44693	33517	67398	280,563	592,703	283,469	598,547	542,375	979,812
Arc1_C10578_85_y.txt	15	17	17	17	28498	51909	28498	51909	21883	46076	381,563	707,579	388,469	719,609	373,11	671,39
Arc1_C10578_90_d.txt	14	15	15	15	24793	47776	24793	47776	20841	51629	322,218	633,094	325,062	639,515	300,61	734,25
Arc1_C10578_90_r.txt	15	17	17	17	22414	33338	22414	33338	23807	47121	304,281	451,375	307,032	456,171	348,063	788,11
Arc1_C10578_90_y.txt	15	17	17	17	26424	84375	26424	84375	26536	52346	360,453	1129,172	364,047	1140,141	393,375	895,156
Arc1_C10578_95_d.txt	14	16	16	16	21653	48902	21653	48902	25002	55986	287,906	647,344	289,875	655,75	357,171	795,609
Arc1_C10578_95_r.txt	15	17	17	17	22323	50993	22323	50993	25137	52869	303,984	691,969	305,469	697,359	366,328	772,735
Arc1_C10578_95_y.txt	15	18	18	18	20968	45275	20968	45275	21298	40130	281,421	618,922	284,078	625,11	317,906	611
Arc1_C11705_85_d.txt	13	14	14	14	23063	33903	23063	33903	20833	54777	300,125	446,844	303,266	450,156	303,594	767,281
Arc1_C11705_85_r.txt	13	15	14	15	24677	31053	24677	31053	28033	56175	324,188	408,672	328,235	412,907	407,5	801,5
Arc1_C11705_85_y.txt	13	15	15	15	21348	57345	21348	57345	21348	43051	282,781	760,469	285,625	767,219	310,859	640,906
Arc1_C11705_90_d.txt	13	14	14	14	20403	53070	20403	53070	21619	52759	267,781	698,829	269,203	704,828	323,219	753,109
Arc1_C11705_90_r.txt	13	15	15	15	29218	42142	29218	42142	24053	63574	384,203	565,609	387,5	570	342,938	923,047
Arc1_C11705_90_y.txt	13	15	15	15	22466	49558	22466	49558	20619	40029	303,953	675,922	306,234	679,828	302,844	592,156
Arc1_C11705_95_d.txt	13	14	14	14	24327	35935	24327	35935	30929	58341	319,812	470,422	322,453	472,922	437,563	815,89
Arc1_C11705_95_r.txt	13	16	16	16	22312	35657	22312	35657	22869	50829	294,281	480,141	297,156	484,015	332,734	741,296
Arc1_C11705_95_y.txt	14	16	16	16	20111	38254	20111	38254	22301	39812	272,859	508,484	275,079	514,062	333,078	592,891
Arc1_C13005_85_d.txt	12	12	12	12	9	448	9	448	562	4186	0,125	5,843	0,109	5,906	7,859	59,359
Arc1_C13005_85_r.txt	12	13	13	13	20421	44931	20421	44931	20890	48068	264,672	595,453	267,64	600,813	302,953	692,656
Arc1_C13005_85_y.txt	12	13	13	13	29576	58334	29576	58334	26224	102202	387	765,016	391,859	772,172	384,609	1471,407
Arc1_C13005_90_d.txt	12	13	13	13	26382	89539	26382	89539	23151	63598	344,703	1168,797	347,438	1179,812	324,906	899,156
Arc1_C13005_90_r.txt	12	13	13	13	21035	31762	21035	31762	23911	61443	279,937	424,281	282,297	426,859	344,657	886,016
Arc1_C13005_90_y.txt	12	14	14	14	21307	39960	21307	39960	21925	74735	285,688	535,86	288,094	541,859	323,937	1081,297
Arc1_C13005_95_d.txt	12	13	13	13	24644	39828	24644	39828	24653	72113	321,609	507,328	324,078	513,187	339,64	1010,359
Arc1_C13005_95_r.txt	12	14	14	14	20496	44672	20496	44672	20460	41820	273,11	581,265	275,157	588,016	294,172	592,609
Arc1_C13005_95_y.txt	12	15	14	15	44054	52702	44054	52702	25219	51522	580,234	709,516	603,531	715,078	363,907	763,016
Arc1_C15747_85_d.txt	10	10	10	10	2	2	2	2	1	3	0,015	0,031	0,015	0,031	0,016	0,047
Arc1_C15747_85_r.txt	10	11	11	11	26307	83063	26307	83063	21688	46458	335,329	1078,938	339,594	1099,734	309,453	660,391
Arc1_C15747_85_y.txt	10	11	11	11	20678	81537	20678	81537	21626	48539	265,422	1070,515	274,968	1085,016	319,11	690,469
Arc1_C15747_90_d.txt	10	10	10	10	2	4	2	4	1	4	0,015	0,047	0,031	0,047	0,015	0,047
Arc1_C15747_90_r.txt	10	11	11	11	20926	53034	20926	53034	31180	47020	266,453	673,922	269,86	685,14	445,64	656,906
Arc1_C15747_90_y.txt	10	11	11	11	21325	40293	21325	40293	25513	74279	273,406	516,547	276,828	522,969	369,812	1051,625

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.12. (Devam) Arc1 Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
	Kmin	r	C*	CV	r		C*		CV		r		C*		CV	
					Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Arc1_C15747_95_d.txt	10	10	11	11	8136	61848	8136	61848	27938	65358	101,906	789,985	103,203	801,437	386,079	914,656
Arc1_C15747_95_r.txt	10	11	11	11	29973	55908	29973	55908	23332	36071	382,328	730,844	387,141	738,297	323,766	505,015
Arc1_C15747_95_y.txt	10	12	12	12	22473	45414	22473	45414	24631	47919	293,75	596,672	298,11	602,328	356,953	681,125
Arc1_C5853_85_d.txt	26	28	28	28	24676	49755	24676	49755	21966	49761	345,688	698,125	349,39	708,172	333,828	763,891
Arc1_C5853_85_r.txt	26	31	31	31	26462	58577	26462	58577	23020	51777	382,187	844,875	385,812	853,547	363,141	812,172
Arc1_C5853_85_y.txt	26	32	32	32	21696	53934	21696	53934	22444	53330	321,5	799,484	325,25	805,297	350,297	837,375
Arc1_C5853_90_d.txt	26	29	29	29	25668	48935	25668	48935	22110	32914	368,469	679,703	371,187	703,609	339,891	496,406
Arc1_C5853_90_r.txt	26	32	32	32	23141	42817	23141	42817	21481	42464	341,969	619,953	344,375	627,047	339,578	658,547
Arc1_C5853_90_y.txt	26	34	34	34	23781	58725	23781	58725	20078	61635	355,297	860,625	357,891	868,219	316,469	985,437
Arc1_C5853_95_d.txt	26	30	30	30	21761	60935	21761	60935	23781	39224	307,375	879,547	310,359	885,532	359,234	599,563
Arc1_C5853_95_r.txt	26	34	34	34	27162	50047	27162	50047	24144	56998	403,25	729,047	406,312	735,125	374,844	899,844
Arc1_C5853_95_y.txt	24	27	27	27	20002	46259	20002	46259	25396	52360	278,578	636,656	281,14	659,079	378,969	803,078
Arc1_C6161_85_d.txt	24	27	27	27	20002	46259	20002	46259	25396	52360	278,578	636,656	281,14	659,079	378,969	803,078
Arc1_C6161_85_r.txt	25	29	29	29	26721	50875	26721	50875	27251	42259	382,031	742,063	385,375	748,063	416,687	645,953
Arc1_C6161_85_y.txt	25	30	30	30	21465	51103	21465	51103	25050	64931	316,75	756,937	318,844	761,062	396,469	1009,766
Arc1_C6161_90_d.txt	24	27	27	27	21172	56505	21172	56505	22544	59792	300,593	800,5	303,593	804,172	340,531	910,875
Arc1_C6161_90_r.txt	25	30	30	30	22267	47533	22267	47533	23653	47049	320,047	697,172	322,375	703,032	368,688	722,547
Arc1_C6161_90_y.txt	25	32	32	32	20436	57697	20436	57697	21359	37457	302,953	858,61	305,593	841,094	340,266	584,75
Arc1_C6161_95_d.txt	25	28	28	28	21140	60155	21140	60155	27568	71119	300,281	858,203	293,625	866,438	413,063	1076,906
Arc1_C6161_95_r.txt	25	32	32	32	29970	49744	29970	49744	20903	42932	440,828	732,062	445,359	716,281	322,328	673,063
Arc1_C6161_95_y.txt	25	34	34	35	22320	44117	22320	44117	22320	49383	327,688	661,172	330,031	665,328	350,625	790,828
Arc1_C6502_85_d.txt	23	27	25	25	21811	38731	21811	38731	26720	51821	309,266	544,297	310,672	552,172	405,563	780,984
Arc1_C6502_85_r.txt	23	25	27	27	25044	41350	25044	41350	35548	54184	362	595,672	364,921	602,657	547,906	817,813
Arc1_C6502_85_y.txt	24	29	29	29	22498	41875	22498	41875	20918	69760	328,281	602,422	333,75	605,579	323,922	1073,875
Arc1_C6502_90_d.txt	23	26	26	26	28337	72815	28337	72815	23866	50674	400,75	1027,172	404,266	1043,907	358,813	774,235
Arc1_C6502_90_r.txt	24	28	28	28	25267	61266	25267	61266	21738	58151	366,156	873,75	370,75	878,063	335,984	881,922
Arc1_C6502_90_y.txt	24	30	30	30	26023	66174	26023	66174	20332	46069	375,656	977,219	377,828	978,078	322,484	716,203
Arc1_C6502_95_d.txt	23	26	26	26	22706	36303	22706	36303	24818	50636	321,766	504,703	324,344	507,766	377,187	748,75
Arc1_C6502_95_r.txt	24	30	30	30	22742	52338	22742	52338	27547	48790	333	752,14	335,157	755,844	431,485	748,969
Arc1_C6502_95_y.txt	24	32	32	32	21574	34534	21574	34534	39552	57527	320,531	501,453	321	505,156	618	915,797
Arc1_C6886_85_d.txt	22	24	24	24	32520	77274	32520	77274	21750	53234	453,719	1054,312	457,953	1063,641	326,625	793,156
Arc1_C6886_85_r.txt	22	26	26	26	32499	44681	32499	44681	24582	42035	463,468	628,031	467,078	634,094	376,453	646,782
Arc1_C6886_85_y.txt	22	27	27	27	20173	32956	20173	32956	23561	47961	286,063	468,969	295,047	473,61	361,969	752,266
Arc1_C6886_90_d.txt	22	24	24	24	26174	54418	26174	54418	24732	40890	358,922	760,516	362,265	768,593	371,703	596,844

Ek-4. (Devam) “r”, “C*” ve “CV” kriterlerine Göre istasyon Sayısı Sonuçları

Çizelge 4.12. (Devam) Arc1 Problemi Sezgisel sonuçları

	İstasyon Sayısı				Deneme Sayısı						Süre					
					r		C*		CV		r		C*		CV	
	Kmin	r	C*	CV	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Arc1_C6886_90_r.txt	22	27	26	26	20814	33850	20814	33850	21274	73000	298,375	477,547	301,953	482,187	321,281	1119,688
Arc1_C6886_90_y.txt	23	28	28	28	20927	60531	20927	60531	20300	60826	299,781	881,078	302,563	891,562	318,563	958,578
Arc1_C6886_95_d.txt	22	25	25	25	21812	41036	21812	41036	23128	75161	295,157	562,313	304,344	568,672	345,125	1111,484
Arc1_C6886_95_r.txt	23	28	28	28	20527	47658	20527	47658	26200	46564	296,438	671,109	299,828	690,625	406,843	708,016
Arc1_C6886_95_y.txt	23	30	30	30	22456	43857	22456	43857	20270	38070	322,203	642,625	325,312	648,719	313,984	599,656
Arc1_C7315_85_d.txt	21	23	23	23	24870	42824	24870	42824	20912	38230	331,984	578,297	342,531	585,094	303,625	557,172
Arc1_C7315_85_r.txt	21	24	24	24	21692	57451	21692	57451	21084	36431	298,484	810,031	307,828	819,515	312,266	551,234
Arc1_C7315_85_y.txt	21	25	25	25	26149	60551	26149	60551	20625	44596	373,968	867,125	378,36	876,781	313,391	691,625
Arc1_C7315_90_d.txt	21	23	23	23	20375	51737	20375	51737	21140	55474	274,703	690,344	277,86	712,094	315,172	826,078
Arc1_C7315_90_r.txt	21	25	25	25	20909	48786	20909	48786	25337	62008	297,468	675,687	300,359	696,562	387,281	923,718
Arc1_C7315_90_y.txt	21	26	26	26	24123	40141	24123	40141	23578	39197	341,094	566,968	344,782	584,094	361,531	597,563
Arc1_C7315_95_d.txt	21	23	23	24	21516	47815	21516	47815	22144	62256	288,375	647,968	297,391	654,875	330,906	908,094
Arc1_C7315_95_r.txt	21	26	26	26	20141	40500	20141	40500	21749	32789	281,718	568,063	285,156	573,875	325,891	503,266
Arc1_C7315_95_y.txt	22	28	28	28	24878	48352	24878	48352	20579	53220	354,469	688,39	358,313	695,89	315,609	832,829
Arc1_C9049_85_d.txt	17	18	18	18	24258	49251	24258	49251	25691	98467	315,531	647,61	326	654,813	373,14	1434,156
Arc1_C9049_85_r.txt	17	19	19	19	24410	41546	24410	41546	25876	39364	326,796	557,36	330,906	563,719	375,906	583
Arc1_C9049_85_y.txt	17	20	20	20	20009	44847	20009	44847	21372	62273	271,875	621,5	275,094	627,484	314,016	946,343
Arc1_C9049_90_d.txt	17	18	18	18	20517	46231	20517	46231	26872	49492	275,422	607,203	278,625	614,282	386,735	720,125
Arc1_C9049_90_r.txt	17	20	20	20	20309	66967	20309	66967	26114	53304	273,75	900,515	276,953	928,937	377,344	772,531
Arc1_C9049_90_y.txt	17	21	21	21	20849	42580	20849	42580	20882	57618	289,953	579,062	293	585,391	315,625	847,531
Arc1_C9049_95_d.txt	17	18	18	18	34068	49999	34068	49999	23627	57505	447,75	649,89	452,625	671,14	334,687	835,391
Arc1_C9049_95_r.txt	17	21	21	21	24241	45012	24241	45012	24054	71724	334,735	607,437	338,219	614,125	355,469	1038,063
Arc1_C9049_95_y.txt	17	22	22	22	22478	40860	22478	40860	36784	64456	306,86	570,078	310,578	576,672	559,828	982,703

Ek-5. Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.1. Jackson Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MYS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Jackson_C14_85_d.txt	7	8	0,32	0,14	0,14	0,14
Jackson_C14_85_r.txt	7	9	0,36	0,33	0,33	0,33
Jackson_C14_85_y.txt	8	10	0,58	0,56	0,56	0,58
Jackson_C14_90_d.txt	7	8	0,32	0,14	0,14	0,14
Jackson_C14_90_r.txt	8	10	0,23	0,28	0,28	0,28
Jackson_C14_90_y.txt	8	11	0,44	0,43	0,43	0,43
Jackson_C14_95_d.txt	7	9	0,02	0,01	0,01	0,01
Jackson_C14_95_r.txt	8	10	0,21	0,21	0,21	0,21
Jackson_C14_95_y.txt	8	13	0,13	0,13	0,13	0,13
Jackson_C16_85_d.txt	6	7	0,3	0,06	0,06	0,06
Jackson_C16_85_r.txt	7	8	0,51	0,8	0,8	0,67
Jackson_C16_85_y.txt	7	9	0,52	0,73	0,73	0,73
Jackson_C16_90_d.txt	6	7	0,3	0,06	0,06	0,06
Jackson_C16_90_r.txt	7	8	0,25	0,17	0,17	0,17
Jackson_C16_90_y.txt	7	9	0,56	0,56	0,56	0,56
Jackson_C16_95_d.txt	6	8	0,01	0,06	0,06	0,06
Jackson_C16_95_r.txt	7	9	0,15	0,05	0,05	0,05
Jackson_C16_95_y.txt	7	10	0,17	0,16	0,16	0,17
Jackson_C19_85_d.txt	5	6	0,65	0,08	0,08	0,08
Jackson_C19_85_r.txt	6	7	0,24	0,65	0,65	0,47
Jackson_C19_85_y.txt	6	7	0,31	0,31	0,31	0,31
Jackson_C19_90_d.txt	5	6	0,18	0,04	0,04	0,04
Jackson_C19_90_r.txt	6	7	0,24	0,51	0,51	0,1
Jackson_C19_90_y.txt	6	8	0,13	0,31	0,31	0,31
Jackson_C19_95_d.txt	5	6	0,12	0,03	0,03	0,03
Jackson_C19_95_r.txt	6	7	0,21	0,09	0,09	0,09
Jackson_C19_95_y.txt	6	8	0,13	0,13	0,13	0,13
Jackson_C21_85_d.txt	5	6	0,78	0,45	0,45	0,33
Jackson_C21_85_r.txt	5	6	0,29	0,23	0,23	0,23
Jackson_C21_85_y.txt	5	6	0,54	0,54	0,54	0,54
Jackson_C21_90_d.txt	5	6	0,08	0,16	0,16	0,19
Jackson_C21_90_r.txt	5	6	0,29	0,23	0,23	0,23
Jackson_C21_90_y.txt	5	7	0,11	0,52	0,52	0,52
Jackson_C21_95_d.txt	5	6	0,07	0,15	0,15	0
Jackson_C21_95_r.txt	5	7	0,18	0,15	0,15	0,15
Jackson_C21_95_y.txt	6	7	0,1	0,1	0,1	0,1
Jackson_C25_85_d.txt	4	5	0,51	0,32	0,32	0,32
Jackson_C25_85_r.txt	4	5	0,63	0,1	0,1	0,1
Jackson_C25_85_y.txt	4	5	0,37	0,37	0,37	0,37
Jackson_C25_90_d.txt	4	5	0,51	0,32	0,32	0,32
Jackson_C25_90_r.txt	4	5	0,79	0,1	0,1	0,1
Jackson_C25_90_y.txt	5	6	0,38	0,53	0,53	0,53
Jackson_C25_95_d.txt	4	5	0,11	0	0	0
Jackson_C25_95_r.txt	5	6	0,03	0,11	0,11	0,09
Jackson_C25_95_y.txt	5	6	0,13	0,13	0,13	0,13

Ek-5.(Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.2. Roszieng Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Roszieng_C30_85_d.txt	9	10	2,75	4,97	4,97	5,2
Roszieng_C30_85_r.txt	9	11	2,88	6,75	6,75	7,99
Roszieng_C30_85_y.txt	9	11	7,31	5,19	5,19	6,23
Roszieng_C30_90_d.txt	9	10	2,67	2,43	2,43	2,45
Roszieng_C30_90_r.txt	9	11	1,86	1,62	1,62	1,66
Roszieng_C30_90_y.txt	9	12	2,49	2,01	2,01	2,97
Roszieng_C30_95_d.txt	9	10	0,05	0,06	0,06	0,06
Roszieng_C30_95_r.txt	9	12	0,68	1,97	1,97	1,95
Roszieng_C30_95_y.txt	10	13	1,33	1,11	1,11	1,11
Roszieng_C32_85_d.txt	8	9	1,94	0,2	0,2	0,2
Roszieng_C32_85_r.txt	9	10	7,18	3,38	3,38	3,44
Roszieng_C32_85_y.txt	9	11	3,91	6,6	6,6	6,6
Roszieng_C32_90_d.txt	8	9	0,4	0,21	0,21	0,2
Roszieng_C32_90_r.txt	9	10	4,85	3,27	3,27	3,34
Roszieng_C32_90_y.txt	9	11	3,83	2,85	2,85	3,06
Roszieng_C32_95_d.txt	8	9	0,39	0,19	0,19	0,2
Roszieng_C32_95_r.txt	9	11	0,48	0,45	0,45	0,46
Roszieng_C32_95_y.txt	9	12	1,19	0,76	0,76	1,24
Roszieng_C33_85_d.txt	8	9	0,68	0,11	0,11	0,1
Roszieng_C33_85_r.txt	8	10	4,08	6,43	6,43	6,32
Roszieng_C33_85_y.txt	9	10	5,58	4,5	4,5	4,83
Roszieng_C33_90_d.txt	8	9	0,46	0,07	0,07	0,05
Roszieng_C33_90_r.txt	9	10	3,42	2,09	2,09	2,18
Roszieng_C33_90_y.txt	9	11	2,68	5,23	5,23	6,46
Roszieng_C33_95_d.txt	8	9	0,45	0,06	0,06	0,05
Roszieng_C33_95_r.txt	9	10	2,79	1,61	1,61	2,18
Roszieng_C33_95_y.txt	9	12	1,53	1,72	1,72	1,75
Roszieng_C38_85_d.txt	7	8	3,06	5,15	5,15	4,88
Roszieng_C38_85_r.txt	7	9	3,66	2,88	2,88	2,87
Roszieng_C38_85_y.txt	7	9	4,22	3,37	3,37	3,49
Roszieng_C38_90_d.txt	7	8	3,06	0,01	0,01	0,01
Roszieng_C38_90_r.txt	7	9	2,64	3,6	3,6	4,03
Roszieng_C38_90_y.txt	8	9	4,08	2,93	2,93	2,93
Roszieng_C38_95_d.txt	7	8	0,64	0,01	0,01	0,01
Roszieng_C38_95_r.txt	8	9	0,86	0,49	0,49	0,49
Roszieng_C38_95_y.txt	8	10	1,28	2,82	2,82	3,3
Roszieng_C46_85_d.txt	6	7	1,42	0,93	0,93	1,54
Roszieng_C46_85_r.txt	6	7	4,01	2,26	2,26	2,26
Roszieng_C46_85_y.txt	6	7	8,73	5,11	5,11	5,06
Roszieng_C46_90_d.txt	6	7	1,42	0,93	0,93	1,3
Roszieng_C46_90_r.txt	6	7	4,01	2,06	2,06	2,04
Roszieng_C46_90_y.txt	6	7	5,6	3,6	3,6	3,71
Roszieng_C46_95_d.txt	6	7	0,59	0,93	0,93	0,92
Roszieng_C46_95_r.txt	6	8	1,78	0,93	0,93	0,95
Roszieng_C46_95_y.txt	7	8	0,73	0,45	0,45	0,44

Ek-5.(Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.3. Sawyer Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Sawyer_C46_85_d.txt	15	16	7,01	6,91	6,91	6,35
Sawyer_C46_85_r.txt	15	18	6,16	12,48	12,48	12,63
Sawyer_C46_85_y.txt	15	20	10,84	14,49	14,49	14,19
Sawyer_C46_90_d.txt	15	17	1,48	2,01	2,01	1,88
Sawyer_C46_90_r.txt	15	19	5,45	6,32	6,32	5,62
Sawyer_C46_90_y.txt	15	21	6,96	6,41	6,41	6,5
Sawyer_C46_95_d.txt	15	17	1,49	1,92	1,92	1,45
Sawyer_C46_95_r.txt	16	23	3,26	3,34	3,34	3,37
Sawyer_C46_95_y.txt	16	23	3,26	3,34	3,34	3,37
Sawyer_C50_85_d.txt	13	15	3,47	4,7	4,7	2,46
Sawyer_C50_85_r.txt	14	17	7,55	6,99	6,99	5,76
Sawyer_C50_85_y.txt	14	18	9,32	10,5	10,5	10,86
Sawyer_C50_90_d.txt	14	15	4,33	4,25	4,25	4,25
Sawyer_C50_90_r.txt	14	18	4,1	4,6	4,6	3,83
Sawyer_C50_90_y.txt	14	19	6,99	6,88	6,88	7,16
Sawyer_C50_95_d.txt	14	16	0,53	0,92	0,92	0,57
Sawyer_C50_95_r.txt	14	19	1,85	1,91	1,91	1,73
Sawyer_C50_95_y.txt	15	21	2,66	2,74	2,74	2,71
Sawyer_C55_85_d.txt	12	14	1,1	2,87	2,87	1,87
Sawyer_C55_85_r.txt	13	15	10,14	8,78	8,78	8,4
Sawyer_C55_85_y.txt	13	16	12,96	11,32	11,32	10,45
Sawyer_C55_90_d.txt	12	14	1,1	1,7	1,7	1,96
Sawyer_C55_90_r.txt	13	16	4,59	4,68	4,68	4,18
Sawyer_C55_90_y.txt	13	17	6,08	5,78	5,78	6,64
Sawyer_C55_95_d.txt	12	14	1,04	1,58	1,58	1,24
Sawyer_C55_95_r.txt	13	17	2,02	1,84	1,84	1,77
Sawyer_C55_95_y.txt	13	19	2,27	2,71	2,71	2,52
Sawyer_C66_85_d.txt	10	11	4,24	3,81	3,81	3,37
Sawyer_C66_85_r.txt	11	12	8,36	8,26	8,26	7,57
Sawyer_C66_85_y.txt	11	13	10,23	9,53	9,53	9,17
Sawyer_C66_90_d.txt	10	11	6,24	5,24	5,24	4,53
Sawyer_C66_90_r.txt	11	13	5,6	5,02	5,02	4,37
Sawyer_C66_90_y.txt	11	14	7,49	6,37	6,37	5,92
Sawyer_C66_95_d.txt	10	12	0,3	0,33	0,33	0,21
Sawyer_C66_95_r.txt	11	14	1,51	1,78	1,78	1,84
Sawyer_C66_95_y.txt	11	15	3	2,74	2,74	2,77
Sawyer_C75_85_d.txt	9	10	4,42	1,36	1,36	1,34
Sawyer_C75_85_r.txt	9	11	7,63	5,58	5,58	4,95
Sawyer_C75_85_y.txt	10	11	12,23	11,33	11,33	11,54
Sawyer_C75_90_d.txt	9	10	1,21	1,32	1,32	0,9
Sawyer_C75_90_r.txt	10	11	6,8	4,63	4,63	4,1
Sawyer_C75_90_y.txt	10	12	5,09	5,15	5,15	5,04

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.3. (Devam) Sawyer Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Sawyer_C75_95_d.txt	9	10	1,02	0,95	0,95	0,77
Sawyer_C75_95_r.txt	10	12	2,17	2,01	2,01	1,92
Sawyer_C75_95_y.txt	10	12	5,09	5,38	5,38	5,27
Sawyer_C99_85_d.txt	7	7	13,23	11,5	11,5	10,66
Sawyer_C99_85_r.txt	7	8	9,85	6,05	6,05	4,7
Sawyer_C99_85_y.txt	7	8	13,8	12,4	12,4	12,03
Sawyer_C99_90_d.txt	7	7	11,76	10,01	10,01	8,53
Sawyer_C99_90_r.txt	7	8	7,63	4,91	4,91	4,53
Sawyer_C99_90_y.txt	7	9	7,23	4,31	4,31	4,12
Sawyer_C99_95_d.txt	7	8	0,92	0,28	0,28	0,07
Sawyer_C99_95_r.txt	7	9	1,59	1,09	1,09	0,83
Sawyer_C99_95_y.txt	8	9	3,35	3,26	3,26	3,19

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.4. Kilbridge Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Kilbridge_C132_85_d.txt	9	9	77,69	53,23	53,23	45,41
Kilbridge_C132_85_r.txt	9	10	54,24	37,56	37,56	26,7
Kilbridge_C132_85_y.txt	9	11	57,27	44,46	43,79	37,38
Kilbridge_C132_90_d.txt	9	10	18,5	3,88	3,88	3,23
Kilbridge_C132_90_r.txt	9	10	50,89	41,51	41,51	36,54
Kilbridge_C132_90_y.txt	9	11	34,26	26,96	26,96	20,25
Kilbridge_C132_95_d.txt	9	10	11,58	2,01	2,01	1,32
Kilbridge_C132_95_r.txt	9	11	16,82	9,04	9,04	6,18
Kilbridge_C132_95_y.txt	10	12	16,87	9,66	9,66	7,96
Kilbridge_C153_85_d.txt	8	8	33,56	36,42	36,42	29,26
Kilbridge_C153_85_r.txt	8	9	48,99	32,08	32,08	18,93
Kilbridge_C153_85_y.txt	8	9	61,33	41,63	41,63	33,85
Kilbridge_C153_90_d.txt	8	8	26,79	22	22	22,47
Kilbridge_C153_90_r.txt	8	9	38,52	21,07	21,07	13,75
Kilbridge_C153_90_y.txt	8	9	51,77	37,93	37,93	33,99
Kilbridge_C153_95_d.txt	8	8	11,66	14,27	14,27	12,08
Kilbridge_C153_95_r.txt	8	9	23,16	14,74	13,22	10,81
Kilbridge_C153_95_y.txt	8	10	22,1	10,72	10,72	8,88
Kilbridge_C183_85_d.txt	7	7	31,17	43,98	43,98	15,64
Kilbridge_C183_85_r.txt	7	7	57,77	66,32	66,32	66,47
Kilbridge_C183_85_y.txt	7	8	65,83	38,49	38,49	83,36
Kilbridge_C183_90_d.txt	7	7	27,11	23,99	23,99	14,96
Kilbridge_C183_90_r.txt	7	8	43,13	49,07	49,07	47,92
Kilbridge_C183_90_y.txt	7	8	36,83	25,1	24,23	16,88
Kilbridge_C183_95_d.txt	7	7	13,11	13,24	13,24	4,8
Kilbridge_C183_95_r.txt	7	8	20,96	7,97	7,97	3,15
Kilbridge_C183_95_y.txt	7	8	20,08	12,85	12,8	10,33
Kilbridge_C230_85_d.txt	5	6	49,37	8,28	8,28	3,72
Kilbridge_C230_85_r.txt	5	6	67,25	31,56	31,56	15,6
Kilbridge_C230_85_y.txt	6	6	69,41	70,62	70,62	70,4
Kilbridge_C230_90_d.txt	5	6	44,05	4,7	4,7	2,11
Kilbridge_C230_90_r.txt	6	6	47,15	42,71	42,71	28,55
Kilbridge_C230_90_y.txt	6	6	45,66	45,85	45,85	49,17
Kilbridge_C230_95_d.txt	5	6	13,99	1,82	1,63	0,25
Kilbridge_C230_95_r.txt	6	6	27,53	18,54	18,22	13,69
Kilbridge_C230_95_y.txt	6	7	24,69	23,05	23,05	23,25
Kilbridge_C307_85_d.txt	4	5	63,39	56,39	51,17	13,51
Kilbridge_C307_85_r.txt	4	5	79,9	71,3	71,3	61,21
Kilbridge_C307_85_y.txt	4	5	72,82	37,44	37,44	34,47
Kilbridge_C307_90_d.txt	4	5	31,85	33,19	33,19	13,51
Kilbridge_C307_90_r.txt	4	5	44,66	20,87	20,65	58
Kilbridge_C307_90_y.txt	4	5	52,45	19,03	19,03	22,4

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.4. (Devam) Kilbridge Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Kilbridge_C307_95_d.txt	4	5	23,24	10,87	10,87	5,2
Kilbridge_C307_95_r.txt	4	5	21,75	6,41	6,41	3,41
Kilbridge_C307_95_y.txt	4	5	22,66	10,22	10,22	8,31
Kilbridge_C95_85_d.txt	12	13	36,39	21,18	21,18	15,19
Kilbridge_C95_85_r.txt	13	14	50,51	48,75	47,22	40,34
Kilbridge_C95_85_y.txt	13	15	46,11	43,97	43,97	44,75
Kilbridge_C95_90_d.txt	12	13	18,8	18,55	18,55	14,09
Kilbridge_C95_90_r.txt	13	15	25,5	21,38	21,38	15,8
Kilbridge_C95_90_y.txt	13	16	29,89	27,41	25,93	23,22
Kilbridge_C95_95_d.txt	12	14	6,12	2,91	2,7	1,87
Kilbridge_C95_95_r.txt	13	16	14,03	9,14	9,14	7,07
Kilbridge_C95_95_y.txt	13	17	14,65	13,07	13,07	12,04

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.5. Hahn Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Hahn_C2806_85_d.txt	10	11	24309,37	24368,61	24368,61	16630,53
Hahn_C2806_85_r.txt	11	14	50555,71	43664,87	43664,87	45133,59
Hahn_C2806_85_y.txt	11	14	50555,71	43664,87	43664,87	45133,59
Hahn_C2806_90_d.txt	10	11	24128,24	14305,99	14305,99	14954,04
Hahn_C2806_90_r.txt	11	14	29839,46	29814,31	29814,31	29097,85
Hahn_C2806_90_y.txt	11	14	29839,46	29814,31	29814,31	29097,85
Hahn_C2806_95_d.txt	10	11	11394,82	8653,09	8653,09	8534,25
Hahn_C2806_95_r.txt	11	15	17130,55	11022,5	11022,5	10989,76
Hahn_C2806_95_y.txt	11	15	17130,55	11022,5	11022,5	10989,76
Hahn_C3157_85_d.txt	9	10	28750,78	2948,28	2948,28	2948,28
Hahn_C3157_85_r.txt	9	11	49668,82	23220,11	23220,11	23456,43
Hahn_C3157_85_y.txt	9	12	39136,08	37754,44	37754,44	37725,06
Hahn_C3157_90_d.txt	9	10	28594,83	4235,67	4235,67	4235,67
Hahn_C3157_90_r.txt	9	12	29490,69	12856,87	12856,87	14576,47
Hahn_C3157_90_y.txt	10	11	59663,86	53633,36	53633,36	52929,67
Hahn_C3157_95_d.txt	9	10	9208,36	3614,03	3614,03	3416,36
Hahn_C3157_95_r.txt	10	13	17015,85	13224,92	13224,92	13331,48
Hahn_C3157_95_y.txt	10	13	17015,85	13224,92	13224,92	13331,48
Hahn_C3507_85_d.txt	8	9	36966,18	6008,2	6008,2	6735,55
Hahn_C3507_85_r.txt	8	10	20066,47	71753,99	71753,99	78299,03
Hahn_C3507_85_y.txt	9	10	60988,54	31328,95	31328,95	32247,17
Hahn_C3507_90_d.txt	8	9	37297,42	4549,3	4549,3	4757,28
Hahn_C3507_90_r.txt	9	10	18539,69	12870,29	12870,29	14603,21
Hahn_C3507_90_y.txt	9	10	28184,58	24501,48	24501,48	24214,28
Hahn_C3507_95_d.txt	8	9	15722,85	2939,64	2939,64	2778,54
Hahn_C3507_95_r.txt	9	11	26245,66	11909,98	11909,98	12646,79
Hahn_C3507_95_y.txt	9	11	26245,66	11909,98	11909,98	12646,79
Hahn_C3789_85_d.txt	8	8	92577,75	86602,64	86602,64	51593,15
Hahn_C3789_85_r.txt	8	10	7725,96	11327,24	11327,24	9780,64
Hahn_C3789_85_y.txt	8	9	38732,11	35877,55	35877,55	36127,94
Hahn_C3789_90_d.txt	8	9	8460,73	46513,7	46513,7	40305,54
Hahn_C3789_90_r.txt	8	10	3777,09	10871,03	10871,03	12868,75
Hahn_C3789_90_y.txt	8	10	27606,76	50463,83	50463,83	44980,72
Hahn_C3789_95_d.txt	8	9	13361,42	27012,48	27012,48	29820,04
Hahn_C3789_95_r.txt	8	10	4476,17	28049,93	28049,93	4017,01
Hahn_C3789_95_y.txt	8	10	21849,67	12053,79	12053,79	12185,71
Hahn_C4676_85_d.txt	6	7	27500,95	13139,44	13139,44	13139,44
Hahn_C4676_85_r.txt	6	7	81668,58	40948,45	40948,45	41255,72
Hahn_C4676_85_y.txt	7	8	17858,4	87228,68	87228,68	89098,58
Hahn_C4676_90_d.txt	6	7	23731,41	8577,76	8577,76	8577,76
Hahn_C4676_90_r.txt	7	7	59867,84	57787,45	57787,45	53170,93
Hahn_C4676_90_y.txt	7	8	14554,04	10937,06	10937,06	11410,36

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.5. (Devam) Hahn Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Kmin	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Hahn_C4676_95_d.txt	6	7	12899,24	4003,43	4003,43	4005,92
Hahn_C4676_95_r.txt	7	8	14080,46	5361,14	5361,14	4345,55
Hahn_C4676_95_y.txt	7	8	28070,67	7341,2	7341,2	7339,07
Hahn_C4735_85_d.txt	6	7	20325,92	13392,26	13392,26	14717,04
Hahn_C4735_85_r.txt	6	7	72660,9	35014,48	35014,48	35353,29
Hahn_C4735_85_y.txt	6	8	16474,81	55454,21	55454,21	55454,21
Hahn_C4735_90_d.txt	6	7	17347,36	6872,78	6872,78	8378,31
Hahn_C4735_90_r.txt	6	7	58771,18	26658,73	26658,73	27200,73
Hahn_C4735_90_y.txt	7	8	13536,72	10658,2	10658,2	11487,19
Hahn_C4735_95_d.txt	6	7	8236,69	2018,88	2018,88	2018,88
Hahn_C4735_95_r.txt	7	8	12175,78	5084,96	5084,96	4976,16
Hahn_C4735_95_y.txt	7	8	12050,11	7127,06	7127,06	6985,78
Hahn_C6314_85_d.txt	5	5	65068,49	47032,85	47032,85	51113,97
Hahn_C6314_85_r.txt	5	6	39662,39	68780,61	68780,61	71432,53
Hahn_C6314_85_y.txt	5	6	89599,64	84468,09	84468,09	84468,09
Hahn_C6314_90_d.txt	5	5	54444,17	31693,27	31693,27	33479,16
Hahn_C6314_90_r.txt	5	6	32217,48	34972,31	34972,31	53005,23
Hahn_C6314_90_y.txt	5	6	58837,77	64409,54	64409,54	67708,24
Hahn_C6314_95_d.txt	5	5	27818,61	8394,76	8394,76	13806,99
Hahn_C6314_95_r.txt	5	6	24197,49	5856,04	5856,04	5042,66
Hahn_C6314_95_y.txt	5	6	6756,93	3219,77	3219,77	3219,77

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.6. Tonge Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Tonge_C289_85_d.txt	25	28	1219,41	1088,35	1088,35	782,19
Tonge_C289_85_r.txt	25	30	1231,41	1556,63	1556,63	1440,08
Tonge_C289_85_y.txt	26	33	1744,01	2190,97	2190,97	2332,99
Tonge_C289_90_d.txt	25	29	521,27	1287,76	1287,76	1259,6
Tonge_C289_90_r.txt	25	32	681	1104,71	1104,71	915,21
Tonge_C289_90_y.txt	26	35	1355,09	1537,24	1537,24	1599,38
Tonge_C289_95_d.txt	25	30	266,96	246,23	246,23	213,3
Tonge_C289_95_r.txt	26	33	606,82	463,78	463,78	438,17
Tonge_C289_95_y.txt	26	38	548,76	750,47	750,47	652,72
Tonge_C304_85_d.txt	24	26	1054,49	1687,55	1687,55	1518,34
Tonge_C304_85_r.txt	24	28	1238,3	1992,21	1992,21	1767,64
Tonge_C304_85_y.txt	24	31	2134,74	2552,21	2552,21	2304,24
Tonge_C304_90_d.txt	24	27	826,95	709,61	709,61	585,25
Tonge_C304_90_r.txt	24	30	967,68	943,17	943,17	768,7
Tonge_C304_90_y.txt	25	33	1113,54	1413,06	1413,06	1249,39
Tonge_C304_95_d.txt	24	28	335,96	298,31	298,31	267,11
Tonge_C304_95_r.txt	25	32	350	567,14	567,14	593,76
Tonge_C304_95_y.txt	25	36	563,05	696,23	696,23	661,04
Tonge_C374_85_d.txt	19	21	1189,29	1333,58	1333,58	952,51
Tonge_C374_85_r.txt	20	23	1173,95	2689,27	2689,27	790,37
Tonge_C374_85_y.txt	20	24	2390,17	1913,14	1913,14	1656,21
Tonge_C374_90_d.txt	19	22	752,11	456,54	456,54	358,88
Tonge_C374_90_r.txt	20	24	867,14	1326,1	1326,1	1255,81
Tonge_C374_90_y.txt	20	26	907,47	1427,77	1427,77	1346,9
Tonge_C374_95_d.txt	20	22	403,91	416,55	416,55	408,98
Tonge_C374_95_r.txt	20	25	355,85	340,38	340,38	308,87
Tonge_C374_95_y.txt	20	28	485,05	680,78	680,78	659,38
Tonge_C423_85_d.txt	17	19	936,98	801,59	801,59	433,98
Tonge_C423_85_r.txt	17	20	1374,61	1186,57	1186,57	1063,33
Tonge_C423_85_y.txt	18	21	2200,18	1820,91	1820,91	1805,93
Tonge_C423_90_d.txt	17	19	926,29	566,04	566,04	371,53
Tonge_C423_90_r.txt	18	21	749,09	1427,67	1427,67	1261,25
Tonge_C423_90_y.txt	18	22	1385,64	1199,82	1199,82	1018,71
Tonge_C423_95_d.txt	17	20	344,6	775,26	775,26	94,63
Tonge_C423_95_r.txt	18	21	638,05	748,27	748,27	672,88
Tonge_C423_95_y.txt	18	24	577,17	904,25	904,25	837,26
Tonge_C488_85_d.txt	15	16	1310,37	1000,1	1000,1	689,94
Tonge_C488_85_r.txt	15	17	1585,23	1287,19	1287,19	996,41
Tonge_C488_85_y.txt	15	18	2000,19	1743,76	1743,76	1501,85
Tonge_C488_90_d.txt	15	16	1044,83	944,43	944,43	835,71
Tonge_C488_90_r.txt	15	18	852,38	1658,85	1658,85	385,45
Tonge_C488_90_y.txt	15	19	1071,51	1056,63	1056,63	806,55

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.6. (Devam) Tonge Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Tonge_C488_95_d.txt	15	17	365,6	179,2	179,2	122,95
Tonge_C488_95_r.txt	15	18	664,9	554,05	554,05	438,64
Tonge_C488_95_y.txt	16	20	602,39	489,71	489,71	433,03
Tonge_C529_85_d.txt	14	15	1381,95	727,66	727,66	465,45
Tonge_C529_85_r.txt	14	16	1370,81	1245,92	1245,92	822,75
Tonge_C529_85_y.txt	14	16	2982,3	2490,38	2490,38	2202,75
Tonge_C529_90_d.txt	14	15	1010,76	429,79	429,79	403,21
Tonge_C529_90_r.txt	14	16	986,53	920,95	920,95	717,55
Tonge_C529_90_y.txt	14	17	1453,51	1248,94	1248,94	1071,15
Tonge_C529_95_d.txt	14	15	693,6	459,76	459,76	476,57
Tonge_C529_95_r.txt	14	17	487,83	319,48	319,48	229,48
Tonge_C529_95_y.txt	15	18	715,38	592,62	592,62	467,36

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.7. WeeMag Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
WeeMag_C52_85_d.txt	58	72	15,61	35,06	35,06	27,16
WeeMag_C52_85_r.txt	59	97	24,3	27,01	27,01	27,73
WeeMag_C52_85_y.txt	59	116	16,72	14,15	14,15	13,66
WeeMag_C52_90_d.txt	58	76	7,25	23,83	23,83	16,11
WeeMag_C52_90_r.txt	59	101	12,27	14,03	14,03	16,5
WeeMag_C52_90_y.txt	60	118	10,41	10,34	10,34	10,34
WeeMag_C52_95_d.txt	58	83	3,09	9,97	9,97	8,22
WeeMag_C52_95_r.txt	60	106	5,19	7,29	7,29	6,01
WeeMag_C52_95_y.txt	61	119	7,2	7,27	7,27	7,27
WeeMag_C53_85_d.txt	57	68	16,51	40,48	40,48	22,56
WeeMag_C53_85_r.txt	58	94	24,81	37,25	37,25	26,41
WeeMag_C53_85_y.txt	58	114	21,06	21,15	21,15	21,07
WeeMag_C53_90_d.txt	57	73	8,02	20,51	20,51	13,21
WeeMag_C53_90_r.txt	58	98	12,49	16,12	16,12	12,53
WeeMag_C53_90_y.txt	59	118	8,18	8,84	8,84	8,84
WeeMag_C53_95_d.txt	57	79	2,53	8,38	8,38	6,67
WeeMag_C53_95_r.txt	59	103	7,5	7,4	7,4	6,66
WeeMag_C53_95_y.txt	60	119	6,79	6,37	6,37	6,37
WeeMag_C54_85_d.txt	56	66	14,54	39,3	39,3	29,35
WeeMag_C54_85_r.txt	57	90	23,39	48,46	48,46	54,63
WeeMag_C54_85_y.txt	57	111	24,48	25,63	25,63	25,36
WeeMag_C54_90_d.txt	56	69	10,55	21,19	21,19	34,57
WeeMag_C54_90_r.txt	57	97	13,17	14,56	14,56	15,36
WeeMag_C54_90_y.txt	58	117	7,69	7,76	7,76	7,76
WeeMag_C54_95_d.txt	56	75	4,17	10,48	10,48	7,25
WeeMag_C54_95_r.txt	58	100	5,19	6,34	6,34	7,56
WeeMag_C54_95_y.txt	58	118	5,77	5,67	5,67	5,5
WeeMag_C56_85_d.txt	54	63	41,39	33,65	33,65	38,06
WeeMag_C56_85_r.txt	55	81	22,81	50,68	50,68	39,42
WeeMag_C56_85_y.txt	55	103	22,11	19,18	19,18	21,86
WeeMag_C56_90_d.txt	54	64	22,54	22,76	22,76	12,43
WeeMag_C56_90_r.txt	55	90	14,97	35,82	35,82	24,89
WeeMag_C56_90_y.txt	56	113	13,43	14,81	14,81	14,36
WeeMag_C56_95_d.txt	54	69	3,25	8,6	8,6	7,8
WeeMag_C56_95_r.txt	56	98	5,27	6,8	6,8	9,06
WeeMag_C56_95_y.txt	56	118	4,17	4,18	4,18	4,18
WeeMag_C58_85_d.txt	52	62	20,73	25,1	25,1	24,66
WeeMag_C58_85_r.txt	53	71	47,66	57,13	57,13	66,43
WeeMag_C58_85_y.txt	53	95	23,09	44,93	44,93	44,06
WeeMag_C58_90_d.txt	52	63	13,98	23,31	23,31	16,81
WeeMag_C58_90_r.txt	53	83	13,91	26,08	26,08	25,24
WeeMag_C58_90_y.txt	54	107	13,52	13,08	13,08	13,28
WeeMag_C58_95_d.txt	52	64	10,09	12,11	12,11	5,93
WeeMag_C58_95_r.txt	54	92	7,04	12,6	12,6	13,26
WeeMag_C58_95_y.txt	54	116	3,73	3,68	3,68	3,68
WeeMag_C59_85_d.txt	51	62	10,86	27,04	27,04	26,24

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.7. (Devam) WeeMag Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
WeeMag_C59_85_r.txt	52	70	37,11	52,93	52,93	56,93
WeeMag_C59_85_y.txt	52	88	34,34	50,45	50,45	51,8
WeeMag_C59_90_d.txt	51	62	13,73	14,92	14,92	15,32
WeeMag_C59_90_r.txt	52	80	16,74	28,28	28,28	25,89
WeeMag_C59_90_y.txt	53	104	13,3	13,29	13,29	13,29
WeeMag_C59_95_d.txt	51	63	7,7	9,55	9,55	9,49
WeeMag_C59_95_r.txt	53	89	6,42	11,23	11,23	16,35
WeeMag_C59_95_y.txt	54	114	5,57	6,11	6,11	6,11
WeeMag_C61_85_d.txt	49	61	6,8	14,48	14,48	14,28
WeeMag_C61_85_r.txt	50	66	64,74	63	63	64
WeeMag_C61_85_y.txt	51	78	45,27	65,83	65,83	63,7
WeeMag_C61_90_d.txt	50	61	9,2	11,54	11,54	12,21
WeeMag_C61_90_r.txt	51	72	21,56	33,68	33,68	33,13
WeeMag_C61_90_y.txt	51	96	15,39	30,36	30,36	29,96
WeeMag_C61_95_d.txt	50	62	3,65	6,29	6,29	6,63
WeeMag_C61_95_r.txt	51	84	6,44	12,61	12,61	12,58
WeeMag_C61_95_y.txt	52	110	4,96	5,2	5,2	5,2
WeeMag_C62_85_d.txt	49	61	24,65	24,25	24,25	27,6
WeeMag_C62_85_r.txt	49	64	50,79	62	62	62
WeeMag_C62_85_y.txt	50	74	50,18	65,54	65,54	67,78
WeeMag_C62_90_d.txt	49	61	4,04	9,05	9,05	8,94
WeeMag_C62_90_r.txt	50	69	29,83	40,34	40,34	47,54
WeeMag_C62_90_y.txt	50	90	17,43	38,29	38,29	33,65
WeeMag_C62_95_d.txt	49	61	4,97	6,65	6,65	7,89
WeeMag_C62_95_r.txt	50	81	5,74	11,15	11,15	11,42
WeeMag_C62_95_y.txt	51	107	4,39	7,33	7,33	6,41
WeeMag_C63_85_d.txt	48	60	19,21	13,13	13,13	12,87
WeeMag_C63_85_r.txt	49	63	49,27	62	62	62
WeeMag_C63_85_y.txt	49	70	52,24	67	67	67
WeeMag_C63_90_d.txt	48	60	14,32	13,7	13,7	12,5
WeeMag_C63_90_r.txt	49	67	34,07	42,95	42,95	47,67
WeeMag_C63_90_y.txt	50	85	24,03	45,84	45,84	35
WeeMag_C63_95_d.txt	48	61	1,71	5,17	5,17	4,06
WeeMag_C63_95_r.txt	49	78	6,64	9,56	9,56	11,16
WeeMag_C63_95_y.txt	50	105	5,61	7,02	7,02	7,17
WeeMag_C69_85_d.txt	44	55	10,08	12,82	12,82	26,74
WeeMag_C69_85_r.txt	44	60	49,63	58	58	49,51
WeeMag_C69_85_y.txt	45	61	74,89	60	60	60
WeeMag_C69_90_d.txt	44	56	7,67	6,45	6,45	6,99
WeeMag_C69_90_r.txt	45	61	39,98	30,41	30,41	30,45
WeeMag_C69_90_y.txt	45	65	43,8	55,88	55,88	55,88
WeeMag_C69_95_d.txt	44	57	1,91	8,93	8,93	3,34
WeeMag_C69_95_r.txt	45	65	11,46	17,19	17,19	16,82
WeeMag_C69_95_y.txt	46	81	10,05	17,2	17,2	19,52

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.8. Lutz2 Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Lutz2_C20_85_d.txt	48	57	978,65	1283,63	1411,993	1224,52
Lutz2_C20_85_r.txt	49	67	2655,67	4157,41	3949,5395	4005,98
Lutz2_C20_85_y.txt	49	70	4681,33	2667,4	2587,378	4403,19
Lutz2_C20_90_d.txt	48	60	225	1242,44	1304,562	805,23
Lutz2_C20_90_r.txt	49	71	2598,42	2348,55	2583,405	2525,11
Lutz2_C20_90_y.txt	50	79	1736,32	2838	2696,1	3068,34
Lutz2_C20_95_d.txt	49	62	104,88	1047,83	1016,3951	227,48
Lutz2_C20_95_r.txt	50	77	545,33	607,01	637,3605	1099,74
Lutz2_C20_95_y.txt	51	87	1321,6	1082,83	1191,113	1062,75
Lutz2_C21_85_d.txt	46	54	2081,91	1420,2	1349,19	1701,86
Lutz2_C21_85_r.txt	47	62	3992,56	3538,54	3432,3838	3837
Lutz2_C21_85_y.txt	47	67	2543,58	3599,66	3779,643	4067,7
Lutz2_C21_90_d.txt	46	56	418,79	1185,89	1304,479	1023,31
Lutz2_C21_90_r.txt	47	66	1901,46	2468,93	2345,4835	3037,88
Lutz2_C21_90_y.txt	47	73	2169,55	2791,15	2707,4155	2147,92
Lutz2_C21_95_d.txt	46	58	109,67	290,5	305,025	513,26
Lutz2_C21_95_r.txt	48	72	625,21	1014,21	1115,631	1095,82
Lutz2_C21_95_y.txt	48	82	760,38	987,15	937,7925	1219,88
Lutz2_C22_85_d.txt	44	52	800,11	3571,28	3464,1416	737,52
Lutz2_C22_85_r.txt	45	59	2734,56	2676,55	2810,3775	3174,02
Lutz2_C22_85_y.txt	45	63	3878,7	3566,9	3923,59	3661,1
Lutz2_C22_90_d.txt	44	52	999,97	436,14	414,333	448,26
Lutz2_C22_90_r.txt	45	63	1137,26	2204,29	2138,1613	2655,05
Lutz2_C22_90_y.txt	45	68	1916,03	1654,02	1736,721	1987,69
Lutz2_C22_95_d.txt	44	54	303,29	312,31	343,541	500,28
Lutz2_C22_95_r.txt	45	68	935,49	1248,27	1185,8565	625,89
Lutz2_C22_95_y.txt	46	76	796,72	1129,49	1095,6053	734,54
Lutz2_C23_85_d.txt	42	49	500,59	1676,36	1760,178	1434,02
Lutz2_C23_85_r.txt	43	55	3708,5	4483,66	4932,026	5421
Lutz2_C23_85_y.txt	43	60	3209,64	3237,37	3075,5015	2734,18
Lutz2_C23_90_d.txt	42	50	301,54	1193,34	1157,5398	773,11
Lutz2_C23_90_r.txt	43	59	891,89	2932,5	3079,125	1078,05
Lutz2_C23_90_y.txt	43	63	2513,2	2338,58	2572,438	2134,55
Lutz2_C23_95_d.txt	42	51	286,05	245,56	233,282	245,08
Lutz2_C23_95_r.txt	43	64	705,23	1169,95	1134,8515	950,68
Lutz2_C23_95_y.txt	44	70	993,55	874,49	918,2145	1560,65
Lutz2_C24_85_d.txt	40	47	603,95	1839,5	2023,45	1300,22
Lutz2_C24_85_r.txt	41	52	3531,01	2949,67	2802,1865	4864,16
Lutz2_C24_85_y.txt	41	55	4767,57	3048,28	2956,8316	4388,5
Lutz2_C24_90_d.txt	40	47	519,4	656,59	689,4195	770,17
Lutz2_C24_90_r.txt	41	55	2256,83	2808,78	3089,658	2686,43
Lutz2_C24_90_y.txt	42	60	1496,35	2984,26	2835,047	1478,34

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.8. (Devam) Lutz2 Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Lutz2_C24_95_d.txt	41	49	137,84	759,65	736,8605	992,49
Lutz2_C24_95_r.txt	42	60	523,31	1034,54	1086,267	963,99
Lutz2_C24_95_y.txt	42	67	598,82	1078,04	1185,844	1066,06
Lutz2_C25_85_d.txt	39	45	411,69	1235,66	1173,877	1194,09
Lutz2_C25_85_r.txt	39	50	2471,43	3007,18	2916,9646	2636,01
Lutz2_C25_85_y.txt	40	52	4854,79	3740,91	3927,9555	3555,07
Lutz2_C25_90_d.txt	39	45	788,08	541,37	595,507	624,81
Lutz2_C25_90_r.txt	40	52	1886,11	2911,21	2765,6495	1598,35
Lutz2_C25_90_y.txt	40	56	3115,51	2558,9	2482,133	2987,17
Lutz2_C25_95_d.txt	39	47	145,42	326,35	342,6675	229,25
Lutz2_C25_95_r.txt	40	57	1040,2	906,87	997,557	1180,26
Lutz2_C25_95_y.txt	41	64	510,08	602,81	572,6695	1199,12
Lutz2_C26_85_d.txt	37	43	496,87	1405,59	1363,4223	1283,99
Lutz2_C26_85_r.txt	38	47	4801,67	2774,04	2912,742	2780,93
Lutz2_C26_85_y.txt	38	51	2902,41	5822,24	6404,464	3164,59
Lutz2_C26_90_d.txt	37	43	1243,99	615,32	584,554	567,73
Lutz2_C26_90_y.txt	38	53	2567,83	3142,82	3048,5354	3246,2
Lutz2_C26_90_r.txt	38	50	1781,95	2260,44	2373,462	2561,7
Lutz2_C26_95_d.txt	37	45	98,6	476,13	523,743	767,39
Lutz2_C26_95_r.txt	39	54	664,73	1073,22	1019,559	914,72
Lutz2_C26_95_y.txt	39	60	943,43	1060,07	1028,2679	1019,95
Lutz2_C28_85_d.txt	35	39	2522,66	1235,18	1296,939	1079,88
Lutz2_C28_85_r.txt	35	44	1479,51	2599,25	2859,175	2228,49
Lutz2_C28_85_y.txt	35	46	5003,42	4809,06	4568,607	4342,49
Lutz2_C28_90_d.txt	35	40	924,21	555,69	539,0193	801,13
Lutz2_C28_90_r.txt	35	46	1037,99	2433,92	2555,616	2160,08
Lutz2_C28_90_y.txt	36	49	2926,64	2701,23	2971,353	3124,45
Lutz2_C28_95_d.txt	35	41	850,75	341,48	324,406	243,14
Lutz2_C28_95_r.txt	36	49	357,13	1124,78	1091,0366	924
Lutz2_C28_95_y.txt	36	53	997,99	1204,39	1264,6095	777,59
Lutz2_C29_85_d.txt	33	37	1703,13	1878,94	2066,834	2198,49
Lutz2_C29_85_r.txt	34	42	2081,38	5267,03	5003,6785	1808,37
Lutz2_C29_85_y.txt	34	45	1994,16	4638,88	4499,7136	4088,71
Lutz2_C29_90_d.txt	34	38	1041,29	830,01	871,5105	794,77
Lutz2_C29_90_r.txt	34	44	977,91	1759,57	1935,527	1493,88
Lutz2_C29_90_y.txt	35	47	1673,29	3157,65	2999,7675	2653,63
Lutz2_C29_95_d.txt	34	39	1311,26	561,33	544,4901	511,24
Lutz2_C29_95_r.txt	35	47	445,92	1228,98	1290,429	1234,41
Lutz2_C29_95_y.txt	35	51	761,02	1425,23	1567,753	1126,21

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.9. Lutz3 Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Lutz3_C143_85_d.txt	23	25	13990,4	10034,27	10034,27	14239,78
Lutz3_C143_85_r.txt	24	27	17273,27	12136,2	12136,2	12831,5
Lutz3_C143_85_y.txt	24	30	11932,14	13366,62	13366,62	14572,3
Lutz3_C143_90_d.txt	23	26	5895,72	3324,74	3324,74	5135,66
Lutz3_C143_90_r.txt	24	29	3937,55	8376,74	8376,74	7296,07
Lutz3_C143_90_y.txt	24	31	7971,89	12733,64	12733,64	6466,47
Lutz3_C143_95_d.txt	23	26	2754,7	829,14	829,14	1085,78
Lutz3_C143_95_r.txt	24	30	2910,16	3055	3055	3117,66
Lutz3_C143_95_y.txt	24	33	3911,72	3609,56	3609,56	3544,1
Lutz3_C151_85_d.txt	22	24	11130,03	5956,96	5956,96	6550,57
Lutz3_C151_85_r.txt	22	26	7334,19	7704,85	7704,85	6965,26
Lutz3_C151_85_y.txt	23	28	10921,54	18376,51	18376,51	17414,93
Lutz3_C151_90_d.txt	22	24	7317,33	5511,23	5511,23	2326,32
Lutz3_C151_90_r.txt	23	27	5484,73	4738,17	4738,17	5051,8
Lutz3_C151_90_y.txt	23	29	8284,53	6654,2	6654,2	6768,71
Lutz3_C151_95_d.txt	22	25	2066,9	1685,56	1685,56	1503,15
Lutz3_C151_95_r.txt	23	28	3583,16	3230,17	3230,17	2792,78
Lutz3_C151_95_y.txt	23	31	3608,19	2634,22	2634,22	3788,73
Lutz3_C158_85_d.txt	21	23	11770,44	4674,49	4674,49	4142,27
Lutz3_C158_85_r.txt	21	25	11833,81	16805,6	16805,6	7408,42
Lutz3_C158_85_y.txt	22	26	16936,4	12513,16	12513,16	11576,53
Lutz3_C158_90_d.txt	21	23	4780,18	3987,17	3987,17	4802
Lutz3_C158_90_r.txt	22	25	9852,81	7919,34	7919,34	4755,9
Lutz3_C158_90_y.txt	22	28	6962,3	10772,08	10772,08	12226,05
Lutz3_C158_95_d.txt	21	24	3046,48	1106,23	1106,23	1135,32
Lutz3_C158_95_r.txt	22	27	3504,36	1920	1920	1920,43
Lutz3_C158_95_y.txt	22	29	4670,74	3832,7	3832,7	4861,99
Lutz3_C166_85_d.txt	20	22	5328,01	3314,02	3314,02	3747,69
Lutz3_C166_85_r.txt	20	23	16114,58	8322,77	8322,77	10863,59
Lutz3_C166_85_y.txt	21	25	12723,88	9418,58	9418,58	9722,99
Lutz3_C166_90_d.txt	20	22	3734,06	3735,28	3735,28	4137,79
Lutz3_C166_90_r.txt	21	24	6991,4	6192,58	6192,58	6145,35
Lutz3_C166_90_y.txt	21	26	11676,03	6757,88	6757,88	7090,8
Lutz3_C166_95_d.txt	20	23	2804,38	5245,31	5245,31	1050,97
Lutz3_C166_95_r.txt	21	25	3539,73	2981,79	2981,79	1663,44
Lutz3_C166_95_y.txt	21	28	3478,2	2313,36	2313,36	2452,51
Lutz3_C176_85_d.txt	19	20	17010,6	11351,19	11351,19	2966,99
Lutz3_C176_85_r.txt	19	22	13535,47	7307,73	7307,73	7565,87
Lutz3_C176_85_y.txt	19	24	14720,45	11143,05	11143,05	9864,01
Lutz3_C176_90_r.txt	19	23	5846,05	8914,21	8914,21	9152,51
Lutz3_C176_90_d.txt	19	21	4438,98	2049,57	2049,57	1853,18
Lutz3_C176_90_y.txt	20	24	7329,53	6703,65	6703,65	6648,71
Lutz3_C176_95_d.txt	19	21	2920,71	1821,98	1821,98	1804,59
Lutz3_C176_95_r.txt	20	24	4056,64	4893,09	4893,09	6081,98
Lutz3_C176_95_y.txt	20	26	3958,46	3005,17	3005,17	2821,86

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.10. Mukherje Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Mukherje_C305_85_d.txt	28	30	5977,18	7278,18	7278,18	7384,16
Mukherje_C305_85_r.txt	28	34	8895,01	8960,69	8960,69	9212,2
Mukherje_C305_85_y.txt	28	36	9154,7	8924,06	8924,06	9214,33
Mukherje_C305_90_d.txt	28	31	4229,73	3743,47	3743,47	3309,13
Mukherje_C305_90_r.txt	28	35	6371,72	6593,9	6593,9	6188,76
Mukherje_C305_90_y.txt	29	37	8679,54	7415,37	7415,37	7860,84
Mukherje_C305_95_d.txt	28	32	1710,67	2044,92	2044,92	1863,25
Mukherje_C305_95_r.txt	29	40	3340,87	3174,68	3174,68	3211,3
Mukherje_C305_95_y.txt	29	40	3340,87	3174,68	3174,68	3211,3
Mukherje_C317_85_d.txt	27	29	7273,3	7277,03	7277,03	7040,05
Mukherje_C317_85_r.txt	27	32	9055,45	10979,95	10979,95	12460,28
Mukherje_C317_85_y.txt	27	34	11431,29	10119,9	10119,9	12235,93
Mukherje_C317_90_d.txt	27	30	3865,9	3764,52	3764,52	3574,39
Mukherje_C317_90_r.txt	27	34	5038,21	5995,22	5995,22	5738,66
Mukherje_C317_90_y.txt	28	36	6993,82	6739,49	6739,49	6618,63
Mukherje_C317_95_d.txt	27	30	2849,72	2442,72	2442,72	2938,37
Mukherje_C317_95_r.txt	27	36	2366,87	2635,41	2635,41	2337,08
Mukherje_C317_95_y.txt	28	39	2514,26	3437,88	3437,88	3025,5
Mukherje_C333_85_d.txt	25	28	7218,68	5417,91	5417,91	5434,92
Mukherje_C333_85_r.txt	26	30	9351,73	8105,09	8105,09	8644,49
Mukherje_C333_85_y.txt	26	33	9347,69	9592,08	9592,08	9157,65
Mukherje_C333_90_d.txt	25	28	5021,61	5280,73	5280,73	5419,2
Mukherje_C333_90_r.txt	26	31	7217,62	5542,31	5542,31	5750,8
Mukherje_C333_90_y.txt	26	34	6299,86	6821,89	6821,89	6640,17
Mukherje_C333_95_d.txt	26	29	2144,41	1851,75	1851,75	1929,01
Mukherje_C333_95_r.txt	26	34	2754,37	2841,28	2841,28	2620,84
Mukherje_C333_95_y.txt	27	37	3002,79	3634,72	3634,72	3661,35
Mukherje_C348_85_d.txt	24	27	6611,64	5331,95	5331,95	4674,08
Mukherje_C348_85_r.txt	25	29	8272,24	8390,21	8390,21	7941,37
Mukherje_C348_85_y.txt	25	30	11240,53	10883,19	10883,19	10847,14
Mukherje_C348_90_d.txt	24	27	5309,57	3791,17	3791,17	3615,96
Mukherje_C348_90_r.txt	25	30	5989,85	8460,22	8460,22	4700
Mukherje_C348_90_y.txt	25	33	5375,25	6465,83	6465,83	5846,18
Mukherje_C348_95_d.txt	24	28	1862,01	1486,9	1486,9	1646,4
Mukherje_C348_95_r.txt	25	32	2246,97	2905,55	2905,55	2955,78
Mukherje_C348_95_y.txt	25	35	3040,64	3813,54	3813,54	2940,98
Mukherje_C366_85_d.txt	23	25	7197,75	5943,45	5943,45	5680,01
Mukherje_C366_85_r.txt	23	27	9593,23	9497,89	9497,89	8964,45
Mukherje_C366_85_y.txt	24	29	9166,36	12825,53	12825,53	12972,34
Mukherje_C366_90_d.txt	23	25	5275,51	4701,36	4701,36	5310,07
Mukherje_C366_90_r.txt	24	28	5539,43	5713,9	5713,9	5160,6
Mukherje_C366_90_y.txt	24	30	6152,13	6581,35	6581,35	6549,91

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.10. (Devam) Mukherje Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Mukherje_C366_95_d.txt	23	26	2395,33	1277,27	1277,27	1467,87
Mukherje_C366_95_r.txt	24	30	2850,82	2519,18	2519,18	2236,25
Mukherje_C366_95_y.txt	24	33	2955,45	3456,77	3456,77	3647,55
Mukherje_C385_85_d.txt	22	24	8010,61	5168,57	5168,57	5130,21
Mukherje_C385_85_r.txt	22	25	11814,9	11305,72	11305,72	11278,67
Mukherje_C385_85_y.txt	23	27	10088,39	9580,61	9580,61	9532,87
Mukherje_C385_90_d.txt	22	24	5225,91	3620,46	3620,46	3439,84
Mukherje_C385_90_r.txt	22	27	5123,6	5380,4	5380,4	5179,86
Mukherje_C385_90_y.txt	23	28	6650,79	6580,02	6580,02	7018,07
Mukherje_C385_95_d.txt	22	25	2473,79	1538,23	1538,23	1610,43
Mukherje_C385_95_r.txt	23	28	2622,53	2618,61	2618,61	2469,85
Mukherje_C385_95_y.txt	23	31	4079,54	3608,39	3608,39	3441,87
Mukherje_C406_85_d.txt	21	22	12086,62	8335,96	8335,96	8229,41
Mukherje_C406_85_r.txt	21	24	9215,6	8822,32	8822,32	9604,81
Mukherje_C406_85_y.txt	21	25	10787,13	10569,62	10569,62	10087,32
Mukherje_C406_90_d.txt	21	23	5393,65	2931,73	2931,73	2202,59
Mukherje_C406_90_r.txt	21	25	5559,8	5086,08	5086,08	5527,97
Mukherje_C406_90_y.txt	22	27	5964,7	5785,75	5785,75	5521,98
Mukherje_C406_95_d.txt	21	23	2888,72	2281,59	2281,59	2225,48
Mukherje_C406_95_r.txt	22	26	2211,84	2867,33	2867,33	2760,34
Mukherje_C406_95_y.txt	22	29	2463,89	3931,36	3931,36	4249,28
Mukherje_C430_85_d.txt	20	21	8657,52	5919,92	5919,92	5926,82
Mukherje_C430_85_r.txt	20	23	7898,6	8582,05	8582,05	8522,64
Mukherje_C430_85_y.txt	20	24	10629,7	9077,43	9077,43	8793,37
Mukherje_C430_90_d.txt	20	21	7550,02	6959,2	6959,2	6619,39
Mukherje_C430_90_r.txt	20	24	5255,77	7312,38	7312,38	8816,28
Mukherje_C430_90_y.txt	20	25	6635,3	5938,92	5938,92	5624,97
Mukherje_C430_95_d.txt	20	22	2145,03	1530,81	1530,81	1447,08
Mukherje_C430_95_r.txt	20	25	2698,66	4327,88	4327,88	2292,64
Mukherje_C430_95_y.txt	21	27	3251,96	2848,81	2848,81	2375,15
Mukherje_C455_85_d.txt	19	20	8480,63	4694,62	4694,62	4316,98
Mukherje_C455_85_r.txt	19	21	10640,93	11012,59	11012,59	9541,54
Mukherje_C455_85_y.txt	19	22	11953,03	11887,43	11887,43	12081,15
Mukherje_C455_90_d.txt	19	20	6172,27	4559,92	4559,92	4905,62
Mukherje_C455_90_r.txt	19	22	6718,36	5139,61	5139,61	5253,52
Mukherje_C455_90_y.txt	19	23	7389,24	6545,58	6545,58	6326,26
Mukherje_C455_95_d.txt	19	21	3005,2	1368,13	1368,13	1207,75
Mukherje_C455_95_r.txt	19	23	3119,86	3019,51	3019,51	3010,38
Mukherje_C455_95_y.txt	20	25	3511,68	3058,13	3058,13	3078,05
Mukherje_C487_85_d.txt	17	18	11093,28	8839,37	8839,37	9854,85
Mukherje_C487_85_r.txt	18	20	10067,19	9000,22	9000,22	8668,83
Mukherje_C487_85_y.txt	18	21	10630,89	8584,52	8584,52	8201,68

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.10. (Devam) Mukherje Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Mukherje_C487_90_d.txt	18	19	5855,79	2912,94	2912,94	2237,92
Mukherje_C487_90_r.txt	18	21	6765,88	5499,21	5499,21	4945,48
Mukherje_C487_90_y.txt	18	22	6152,07	6021,03	6021,03	5793,78
Mukherje_C487_95_d.txt	18	19	2500,33	1682,8	1682,8	1547,9
Mukherje_C487_95_r.txt	18	22	2875,75	3651,04	3651,04	4454,62
Mukherje_C487_95_y.txt	18	23	3322,06	2515,14	2515,14	2603,28
Mukherje_C522_85_d.txt	16	17	8280,4	5735,68	5735,68	5388,76
Mukherje_C522_85_r.txt	17	18	10664,05	9760,24	9760,24	9594,51
Mukherje_C522_85_y.txt	17	20	10920,64	11579,48	11579,48	11195,36
Mukherje_C522_90_d.txt	16	18	4834,68	7523,86	7523,86	2148,54
Mukherje_C522_90_r.txt	17	19	6521,47	4996,57	4996,57	4818,58
Mukherje_C522_90_y.txt	17	20	7390,08	5788	5788	5601,13
Mukherje_C522_95_d.txt	16	18	3148,47	1084,36	1084,36	1105,95
Mukherje_C522_95_r.txt	17	20	3169,96	2469,04	2469,04	2420,8
Mukherje_C522_95_y.txt	17	21	3810,92	3192,46	3192,46	3007,57
Mukherje_C561_85_d.txt	15	16	8585,09	4627,41	4627,41	4681,68
Mukherje_C561_85_r.txt	15	17	12209,17	7547,7	7547,7	7003,59
Mukherje_C561_85_y.txt	16	18	10386,15	8540,02	8540,02	7457,02
Mukherje_C561_90_d.txt	15	16	7561,64	3188,39	3188,39	2927,22
Mukherje_C561_90_r.txt	16	18	7719,22	5020,38	5020,38	4307,06
Mukherje_C561_90_y.txt	16	18	7841,79	7909,92	7909,92	8033,26
Mukherje_C561_95_d.txt	15	17	3807,35	1218,78	1218,78	880,05
Mukherje_C561_95_r.txt	16	18	3826,83	2723,69	2723,69	2622,04
Mukherje_C561_95_y.txt	16	20	3857,14	2414,9	2414,9	2562,03
Mukherje_C608_85_d.txt	14	15	8893,62	3274,42	3274,42	3153,05
Mukherje_C608_85_r.txt	14	16	12712,92	7549,46	7549,46	6991,31
Mukherje_C608_85_y.txt	14	16	11336,14	9637,41	9637,41	9513,19
Mukherje_C608_90_d.txt	14	15	7373,15	2394,41	2394,41	1873,38
Mukherje_C608_90_r.txt	14	16	7271,32	4259,67	4259,67	4821,39
Mukherje_C608_90_y.txt	15	17	7564,41	5583,26	5583,26	5167,43
Mukherje_C608_95_d.txt	14	15	3310,81	1735,98	1735,98	1897,22
Mukherje_C608_95_r.txt	15	17	3222,11	2308,62	2308,62	1679,8
Mukherje_C608_95_y.txt	15	18	3152,73	2608,85	2608,85	2165,65

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.11. Arc Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Arc_C10512_85_d.txt	30	33	59882,28	56448,32	56448,32	59355,04
Arc_C10512_85_r.txt	30	37	95365,74	127261,92	127261,92	130759,54
Arc_C10512_85_y.txt	30	39	126375,24	139387,37	139387,37	143040,71
Arc_C10512_90_d.txt	30	33	50684,68	56134,21	56134,21	30524,9
Arc_C10512_90_r.txt	30	38	72689,29	79580,63	79580,63	80190,1
Arc_C10512_90_y.txt	31	42	86814,81	99022,84	99022,84	95651,39
Arc_C10512_95_d.txt	30	34	23998,54	27560,69	27560,69	27560,69
Arc_C10512_95_r.txt	31	41	23982,86	31920,66	31920,66	31920,66
Arc_C10512_95_y.txt	31	45	31417,95	38454,59	38454,59	47319,67
Arc_C10932_85_d.txt	28	31	144068	115015,42	115015,42	52293,26
Arc_C10932_85_r.txt	29	35	99733,74	126327,02	126327,02	132267,51
Arc_C10932_85_y.txt	29	37	96992,89	170429,42	170429,42	182026,19
Arc_C10932_90_d.txt	29	32	57270,58	40349,64	40349,64	42991,62
Arc_C10932_90_r.txt	29	37	50220,76	76203,11	76203,11	76704,22
Arc_C10932_95_d.txt	29	33	38330,45	20754,69	20754,69	37875,12
Arc_C10932_90_y.txt	29	39	37939,27	18503,82	18503,82	21528,44
Arc_C10932_95_r.txt	30	39	41108	36323,83	36323,83	38119,32
Arc_C10932_95_y.txt	30	43	37889,17	49987,15	49987,15	49987,15
Arc_C11388_85_d.txt	27	30	69929,31	73876,5	73876,5	69957,68
Arc_C11388_85_r.txt	28	34	119995,5	129287,92	129287,92	134023,18
Arc_C11388_85_y.txt	28	36	144538,24	125854,87	125854,87	125854,87
Arc_C11388_90_d.txt	27	31	44742,7	36006,16	36006,16	29356,99
Arc_C11388_90_r.txt	28	35	76901,2	76218,11	76218,11	78720,63
Arc_C11388_90_y.txt	28	37	117832,25	73210,65	73210,65	84396,41
Arc_C11388_95_d.txt	28	31	37178,95	15395,32	15395,32	15101,76
Arc_C11388_95_r.txt	28	37	28929,8	32203,72	32203,72	30987,94
Arc_C11388_95_y.txt	29	41	34129,42	39457,36	39457,36	39457,36
Arc_C11884_85_d.txt	26	29	63140,83	69848,6	69848,6	77828,11
Arc_C11884_85_r.txt	27	32	154103,96	95202,76	95202,76	101309,09
Arc_C11884_90_d.txt	26	29	59981,34	101525,83	101525,83	21311,28
Arc_C11884_85_y.txt	27	34	54456,12	73925,76	73925,76	23708,97
Arc_C11884_90_r.txt	27	33	86369	67974,68	67974,68	74135,85
Arc_C11884_90_y.txt	27	36	95335,39	81029,29	81029,29	81029,29
Arc_C11884_95_d.txt	26	30	35160,19	31870,7	31870,7	9521,59
Arc_C11884_95_r.txt	27	35	26652,43	40077,25	40077,25	39921,75
Arc_C11884_95_y.txt	28	38	32625,58	35530,66	35530,66	36113,97
Arc_C12424_85_d.txt	25	27	134902	91599,5	91599,5	88935,27
Arc_C12424_85_r.txt	26	31	112026,86	142585,14	142585,14	117670,95
Arc_C12424_85_y.txt	26	32	108040,67	186979,67	186979,67	124549,29
Arc_C12424_90_d.txt	25	28	85424,53	44886,34	44886,34	44886,34
Arc_C12424_90_r.txt	26	32	84173,49	55122,35	55122,35	56252,14
Arc_C12424_90_y.txt	26	34	76763,62	88489,24	88489,24	82323,15

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.11. (Devam) Arc Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Arc_C12424_95_d.txt	25	29	48101,59	19587,8	19587,8	19261,41
Arc_C12424_95_r.txt	26	34	44311,91	27254,88	27254,88	27764,95
Arc_C12424_95_y.txt	26	36	53898,46	40106,37	40106,37	38349,28
Arc_C13014_85_d.txt	24	26	158909,38	71998,37	71998,37	70619,28
Arc_C13014_85_r.txt	24	29	153548,95	112113,43	112113,43	120204,74
Arc_C13014_85_y.txt	25	31	157544,44	125081,81	125081,81	122489,68
Arc_C13014_90_d.txt	24	26	138474,49	26797,52	26797,52	19968
Arc_C13014_90_r.txt	25	30	104618,37	73653,48	73653,48	75601,34
Arc_C13014_90_y.txt	25	32	105390,15	77636,89	77636,89	77636,89
Arc_C13014_95_d.txt	24	27	35392,88	23393,33	23393,33	21639,93
Arc_C13014_95_y.txt	25	34	45255,37	27905,32	27905,32	27905,32
Arc_C13014_95_r.txt	25	32	46962,58	27699,86	27699,86	31139,96

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.12. Arc1 Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Arc1_C10578_85_d.txt	14	15	20362,16	20280,72	22317,02	17539,92
Arc1_C10578_85_r.txt	15	16	40203,82	32204,07	33014,93	29300,36
Arc1_C10578_85_y.txt	15	17	46456,73	32728,35	33899,38	31159,06
Arc1_C10578_90_d.txt	14	15	20757,86	23284,15	24627	20679,85
Arc1_C10578_90_r.txt	15	17	24972,02	16445,86	17672,75	15360,69
Arc1_C10578_90_y.txt	15	17	40027,13	28701,62	30945,97	29939,46
Arc1_C10578_95_d.txt	14	16	5919,28	2905,9	3409,76	2176,99
Arc1_C10578_95_r.txt	15	17	18673	12261,38	12882,69	11178,12
Arc1_C10578_95_y.txt	15	18	12338,64	13100,03	13700,69	13693,38
Arc1_C11705_85_d.txt	13	14	55433,34	15084,45	18014,37	11726,8
Arc1_C11705_85_r.txt	13	15	41465,93	27991,83	76510,38	27406,34
Arc1_C11705_85_y.txt	13	15	49973,88	36009,02	36997,59	34475,7
Arc1_C11705_90_d.txt	13	14	13854,29	7239,34	9496,48	7445,53
Arc1_C11705_90_r.txt	13	15	29530,83	19269,47	19269,47	20585,62
Arc1_C11705_90_y.txt	13	15	43555,2	43316,47	43316,47	43826,09
Arc1_C11705_95_d.txt	13	14	3913,1	4358,82	4901,12	3974,3
Arc1_C11705_95_r.txt	13	16	17693,66	7555,44	8455,5	6642,77
Arc1_C11705_95_y.txt	14	16	16337,45	16205,34	16508,34	15913,46
Arc1_C13005_85_d.txt	12	12	33872,25	52305,14	57502,72	46990,68
Arc1_C13005_85_r.txt	12	13	45138	28635,37	34219,84	30727,5
Arc1_C13005_85_y.txt	12	13	55371,33	52720,06	55000,37	57147
Arc1_C13005_90_d.txt	12	12	32297,28	7999,54	10147,9	6211,54
Arc1_C13005_90_r.txt	12	13	27364,68	30776,97	31193,82	28502,98
Arc1_C13005_90_y.txt	12	14	32594,66	21819,42	22553,28	22058,36
Arc1_C13005_95_d.txt	12	13	17615,92	3586,3	3684,77	2687,34
Arc1_C13005_95_r.txt	12	14	16743,17	7623,01	7623,01	10365,53
Arc1_C13005_95_y.txt	12	14	26219,77	8513,57	9148,68	7622,88
Arc1_C15747_85_d.txt	10	10	57972,51	48908,81	55970,85	47819,22
Arc1_C15747_85_r.txt	10	11	59632,63	30208,74	32717,32	30938,89
Arc1_C15747_85_y.txt	10	11	57363,73	35977,9	36854,63	33691,1
Arc1_C15747_90_d.txt	10	10	25264,37	29669,69	30956,1	34311,23
Arc1_C15747_90_r.txt	10	11	43530,03	20364,65	21701,74	20835,24
Arc1_C15747_90_y.txt	10	11	43585,31	28005,91	28419,97	29228,86
Arc1_C15747_95_d.txt	10	11	17937,81	2572,24	27261,98	2645,24
Arc1_C15747_95_r.txt	10	12	21263,16	23373,08	24251,94	16649,62
Arc1_C15747_95_y.txt	10	12	16945,18	10760,09	11400,08	10260,57
Arc1_C5853_85_d.txt	26	28	46197,45	27531,15	27993,42	23860,89
Arc1_C5853_85_r.txt	26	31	31355,01	27310,03	28996,8	26244,28
Arc1_C5853_85_y.txt	26	32	50622,31	42631,69	46551,4	41938,34
Arc1_C5853_90_d.txt	26	29	9907,55	9018,28	9018,28	8928,86
Arc1_C5853_90_r.txt	26	32	18942,27	25867,73	36605,47	26927,17
Arc1_C5853_90_y.txt	26	34	25405,73	24992,7	27264,86	25142,2
Arc1_C5853_95_d.txt	26	30	4956,81	2987,48	3428,19	3074,17
Arc1_C5853_95_r.txt	26	34	8232,03	9623,29	10277,35	9492,45
Arc1_C5853_95_y.txt	24	27	19331,86	15115,17	15175,87	12933,91
Arc1_C6161_85_d.txt	24	27	19331,86	15115,17	15175,87	12933,91
Arc1_C6161_85_r.txt	25	29	44145,37	33440,32	34735,86	36125,13

Ek-5. (Devam) Test Problemleri için MYS kriterine göre Sonuçlar

Çizelge 5.12. (Devam) Arc1 Problemi için MYS İstasyon Sayısı ve Tamamlanmama Maliyeti Sonuçları

	MS		Tamamlanmama Maliyeti			
	Teorik	Bulunan	MYS	r	C*	cv
Arc1_C6161_85_y.txt	25	30	34448,38	46478,57	46478,57	55521,95
Arc1_C6161_90_d.txt	24	27	18352,17	12597,63	12626,54	12309,87
Arc1_C6161_90_r.txt	25	30	12742,01	21306,83	22298,34	19798,87
Arc1_C6161_90_y.txt	25	32	28754,37	24162,57	24177,89	23834,08
Arc1_C6161_95_d.txt	25	28	11847,64	5478,75	6523,71	5249,56
Arc1_C6161_95_r.txt	25	32	7689,46	10815,51	11276,22	10271,1
Arc1_C6161_95_y.txt	25	34	9007,76	9169,43	9595,5	8422,99
Arc1_C6502_85_d.txt	23	25	17670,3	23645,83	25418,69	25842,89
Arc1_C6502_85_r.txt	23	27	21345,09	25575,84	41824,2	28320,55
Arc1_C6502_85_y.txt	24	29	36536,27	32533,13	33945,09	32805,92
Arc1_C6502_90_d.txt	23	26	6861,54	8030,65	8755,26	8109,65
Arc1_C6502_90_r.txt	24	29	25558,06	32963,64	34266,63	13918,01
Arc1_C6502_90_y.txt	24	30	24386,66	22917,6	22917,6	23212,69
Arc1_C6502_95_d.txt	23	26	7552,22	10470,95	12894,89	10117,28
Arc1_C6502_95_r.txt	24	30	6855,58	8915,16	8957,46	8534,86
Arc1_C6502_95_y.txt	24	32	8876	12906,15	12906,15	12013,75
Arc1_C6886_85_d.txt	22	24	41204,33	14190,25	16349,68	17791,54
Arc1_C6886_85_r.txt	22	26	27710,17	24858,73	26646,55	27902,9
Arc1_C6886_85_y.txt	22	27	43833,75	36381,82	38850,81	36302,91
Arc1_C6886_90_d.txt	22	24	12050,01	16879,33	17749,21	17575,33
Arc1_C6886_90_r.txt	22	26	20406,68	16832,16	40184,54	37699,23
Arc1_C6886_90_y.txt	23	28	17750,96	26730,49	27628,45	29004,48
Arc1_C6886_95_d.txt	22	25	3111,83	3642,56	3989,21	3533,11
Arc1_C6886_95_r.txt	23	28	14038,01	8998,3	8998,3	10355,88
Arc1_C6886_95_y.txt	23	30	13559,72	12301,9	12496,68	11796,22
Arc1_C7315_85_d.txt	21	23	17306,35	12168,17	12168,17	11602,99
Arc1_C7315_85_r.txt	21	24	47367,6	32161,56	32323,84	31845,86
Arc1_C7315_85_y.txt	21	25	42523,55	42039,96	42686,02	41082,36
Arc1_C7315_90_d.txt	21	23	13889,17	8456,16	9251,24	9866,49
Arc1_C7315_90_r.txt	21	25	17254,33	16333,3	17508,37	18326,07
Arc1_C7315_90_y.txt	21	26	28558,74	28906,97	31515,02	28197,77
Arc1_C7315_95_d.txt	21	23	14031,26	10759,66	10759,66	2899,09
Arc1_C7315_95_r.txt	21	26	11504,45	10304,83	10622,8	11346,12
Arc1_C7315_95_y.txt	22	28	13734,91	11165,86	11867,8	11856,66
Arc1_C9049_85_d.txt	17	18	13687,87	12538,49	14815,88	8375,41
Arc1_C9049_85_r.txt	17	19	33345,28	28676,33	28676,33	27049,54
Arc1_C9049_85_y.txt	17	20	51062,82	41568,53	43159,4	47074,94
Arc1_C9049_90_d.txt	17	18	8417,77	10474,73	10474,73	7923,93
Arc1_C9049_90_r.txt	17	20	22975,57	21828,25	22762,31	17737,55
Arc1_C9049_90_y.txt	17	21	38098,88	19132,07	20904,58	19826,07
Arc1_C9049_95_d.txt	17	19	2153,92	18273,21	20579,49	17613,65
Arc1_C9049_95_r.txt	17	21	11695,48	7881,93	7881,93	6726,34
Arc1_C9049_95_y.txt	17	22	14505,83	11231,44	11787,09	9999,18

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÇERÇİOĞLU, Hakan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 16.09.1978 Antalya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 285 24 59
 Faks : 0 (312) 230 84 34
 e-mail : cercioglu@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	İ.T.Ü. /Mühendislik Bilimleri Bölümü Sistem Analizi Y.L. Programı	2004
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü	2001
Lise	Isparta Süleyman Demirel Fen Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2009	Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Tabiat Gezileri, Popüler Tarih