



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR TEKSTİL FİRMASININ BOYAHANE
BÖLÜMÜNDE PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME
PROBLEMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL
ÖNERİSİ VE FARKLI ÇİZELGELEME
KURALLARININ KARŞILAŞTIRMASI**

Merve KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bir Tekstil Firmasının Boyahane Bölümünde Paralel Makine Çizelgeleme Problemi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi ve Farklı Çizelgeleme Kurallarının Karşılaştırılması

MERVE KILIÇ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

2021, 106 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Prof.Dr Mehmet AKTAN

Prof.Dr Saadettin Erhan KESEN

Özellikle son yıllarda üretim ve hizmet sektörü için önemli bir karar verme tekniği haline gelen çizelgeleme, işletme verimliliğini ve makinelerin etkin kullanımını direkt olarak etkilemektedir. Tez çalışmasında, tekstil sektöründe faaliyet gösteren kurumsal bir firmanın boyahane bölümünde yer alan sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makineli çizelgeleme problemine yer verilmiştir. Çalışmada boyanacak olan her bir kumaşın teslim zamanlarına, kumaş cinsi ve rengine bağlı olarak değişen işlem sürelerine ve renk değişiminden kaynaklı meydana gelen hazırlık sürelerine yer verilmiştir. Bu veriler göz önünde bulundurularak en uygun sıralamanın oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışma için toplam gecikme süresini dolayısıyla gerçekleşenle planlanan üretim farklarını en aza indirmeyi amaçlayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model, matematiksel programlama ve optimizasyon problemleri için sıkça kullanılan GAMS dili ve NP-zor yapıda olan büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan LEKİN aracılığıyla çözülmüştür. Bu bilgisayar destekli programda, literatürde çokça kullanılan SPT (En Kısa İşlem Süresi), LPT (En Uzun İşlem Süresi) ve EDD (En Erken Teslim Süresi) kurallarına başvurulmuştur. Bu çizelgeleme kuralları iş sıralamasında istenilen özelliklere göre fizibil sonuçlar elde edilmesini sağlamakla birlikte Gantt şemalarını da görebilmemize olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Makine çizelgeleme, Matematiksel model, Sıra bağımlı hazırlık süresi, Paralel makine ortamı.*

ABSTRACT

MS

A Mathematical Model Proposal for the Parallel Machine Scheduling Problem and Comparison of Different Scheduling Rules in the Dyeing Department of a Textile Company

Merve KILIÇ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

2021, 106 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

Prof.Dr Mehmet AKTAN

Prof.Dr Saadettin Erhan KESEN

Specially in recent years, scheduling, has become an important decision-making technique for the production and service sector, directly affects operational efficiency and the effective use of machines. In the thesis study, the parallel machine scheduling problem with sequence dependent preparation time in the dyehouse section of a corporate company operating in the textile sector is included. In the study, the delivery time of fabrics to be dyed, the processing times that vary depending on the fabric type and color, and the preparation times due to color change are included. Considering these data, it is aimed to create the most appropriate ranking. A mathematical model has been developed for the study, which aims to minimize the total delay time, thus the difference between actual and planned production. This model is solved by the GAMS language, which is frequently used for mathematical programming and optimization problems, and LEKIN, which is used to solve large-sized problems with NP-hard structure. This computer-aided program, widely used in the literature SPT (Shortest Processing Time), LPT (Longest Processing Time) and EDD (Earliest Delivery Time) have been applied to the rules. These scheduling rules allow us to see the Gantt charts, as well as providing feasible results according to the desired features in the job sequence.

Keywords: *Machine scheduling, Mathematical model, Sequence dependent setup time, parallel machine environment.*

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi'nde, tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir firmada paralel makineli çizelgeleme problemi incelenmesi yapılmıştır. Tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Kemal ALAYKIRAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

MERVE KILIÇ

KONYA-2021

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. ÇİZELGELEME.	3
2.1. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.....	3
2.2. Çizelgelemede Yapılan Çalışmaların Uygulama Alanları.....	6
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.	7
4. PROBLEM TANIMI	13
4.1. Kumaş Boyama Makinelerinin Özellikleri ve Kumaş Boyama Prosesi	14
5. ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI VE MATEMATİKSEL MODEL.....	17
5.1. Problemin Varsayımları ve Çizelgeleme Parametreleri.....	18
5.2.Öncelik Kuralları.....	21
6.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
6.1.Deney Tasarımı	24
6.1.1.Deney tasarım grubu-1.....	24
6.1.2.Deney tasarım grubu-2.....	32
6.1.3.Deney tasarım grubu-3.....	40
6.1.4.Deney tasarım grubu-4.....	48
6.1.5.Deney tasarım grubu-5.....	53
6.2.Lekin Yazılımı	55
6.2.1.Lekin'in Özellikleri.....	55
6.2.2.Lekin yazılımı deney tasarım grubu-1.....	59
6.2.3. Lekin yazılımı deney tasarım grubu-2.....	66
6.2.4. Lekin yazılımı deney tasarım grubu-3.....	74
6.2.5. Lekin yazılımı deney tasarım grubu-4.....	82

6.2.6. Lekin yazılımı deney tasarım grubu-5.....	90
7.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	107



SİMGELER ve KISALTMALAR

C_{max} :	Maksimum Tamamlanma Zamanı
CP:	Kritik Yol
ÇKM:	Çözüm Kombinasyon Metodu
ÇYDM:	Çift Yönlü Değişim Metodu
Diğ:	Diğer
DOP:	Doğrusal Olmayan Programlama
DP:	Dinamik Programlama
DRAAP:	Doyumsuz Rastsal Adaptiv Arama Prosedürü
DSA:	Dal ve Sınır Algoritması
E/G:	Erkenlik / Geçlik
EATÇ:	Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme
EDD:	En Erken Teslim Süresi
FCFS:	İlk Gelen İlk Servis Görür
GA:	Genetik Algoritma
GAMS:	The General Algebraic Modeling System
GSP:	Gezgin Satıcı Problemi
HA:	Hibrit Algoritma
HPSO:	Hibrit Parçacık Sürü Algoritma
KG:	Kilogram
KTDP:	Karma Tam sayılı Doğrusal Programlama
LCFS:	Son Gelen İlk Servis Görür
LNS:	Sonraki İşlem Sayısı En Fazla Olan İş
LPT:	En Uzun İşlem Süresi
MM:	Matematiksel Model
M^2 :	Metrekare
NP:	Deterministik olmayan-Polinom zamanı
P:	Deterministik Polinomsal
SBHZ:	Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanlı
S_n :	Saniye
SPT:	En Küçük İşlem Süresi
SST:	En Kısa Hazırlık Süresi
SY:	Sezgisel Yöntem

TA: Tabu Arama

TB: Tavlama Benzetimi

TDP: Tam sayılı Doğrusal Programlama

YA: Yerel Arama



1.GİRİŞ VE AMAÇ

Ürün yaşam döngülerinin kısalması, teknolojinin hızlı gelişimi ve endüstriyel değişimler nedeniyle zorlu rekabet ortamıyla karşı karşıya kalan kuruluşlar, avantaj elde etmek için üretim sistemlerinin temel unsurlarına yani; üretim planlama, üretim, kalite ve bakımı optimize etmeye yoğunlaşmışlardır. Çalışma şartlarını iyileştirmek, üretim planlamayı sağlamlaştırmak, kalite standartlarını korumak ve bunların devamlılığını sağlamanın yanı sıra müşteri beklentilerinin zamanında yerine getirilmesi ve yeni yönetim sistemlerinin geliştirilmesi firmalar için hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle firmalar, özellikle işlem özelliği taşıyan seviyedeki kararların hızlı ve etkin bir şekilde alınmasına önayak olacak çözüm araçlarına ihtiyaç duymaktadırlar. İşlemsel düzeydeki en önemli kararlardan biri de çizelgeleme faaliyetleridir.(Crosby, 1984; Miltenburg, 1993; Eminoğlu ve diğ., 2015).

Çizelgeleme, bir dizi işin bir dizi makinede işlem görmesi durumunda üretim sürelerinin ve toplam ağırlıklı tamamlanma ve gecikme sürelerinin minimum seviyelere indirilmesinin programlanması olarak tanımlanabilir (Hermelin ve diğ.,2019).

Çizelgelemenin temel amacı; var olan üretim kaynaklarının en yüksek verimde kullanılması, müşterilerin talep ve ihtiyaçlarına olabildiğince hızlı cevap verilmesi, ürünlerin zamanında ilgili yerlere ulaştırılması, işletmede yer alan yarı mamul stoklarının azaltılması, uygulanan fazla mesai saatlerinin ve toplam maliyetlerin düşürülmesidir.(Kaya ve Karaçizmeli,2018)

Çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran özgün yönü, bir işten diğer işe geçiş esnasında sıraya bağlı olarak hazırlık sürelerinin var olmasıdır.

Çalışmanın ikinci kısmında, çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılmasına ve çalışmaların uygulama alanlarına detaylı bir şekilde yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasının içeriğiyle ilgili geniş bir literatür araştırması yapılarak ele alınan çizelgeleme çalışmalarındaki problemlere, amaç fonksiyonlarına ve kullanılan çözüm yöntemlerine değinilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, ele alınan problemin gerçekleştiği işletme ve söz konusu problem hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, problem için geliştirilen çözüm önerisi ile ilgili genel bilgilere yer verilerek oluşturulan matematiksel modelden detaylı olarak bahsedilmiştir. Ardından öncelik kurallarına yer verilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde, firmadan alınan verilerle problem modellenmiş ve deneysel tasarım adı altında toplanan test problemleri hakkında bilgi verilmiştir. Farklı boyutlarda türetilen problemler için geliştirilen algoritma çözümlerinin GAMS sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca LEKİN yazılımı kullanılarak EDD, LPT ve SPT öncelik kurallarından elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile GAMS çözücüsüyle elde edilen amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Oluşturulan problemlerin ortaya çıkan çözüm tablolarına, iş sıralamasına ve Gantt şemalarına yer verilmiştir.

Son bölümde ise, problem hakkında genel bilgiler verilerek çalışma ile ilgili elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Ardından da çalışmanın sonraki seyrinin nasıl devam etmesi gerektiği ve nasıl geliştirilebileceği hakkında önerilerde bulunulmuştur.



2.ÇİZELGELEME

Belirli bir hazırlık süresi, operasyon süresi ve teslim zamanı olan işler belirli sayıdaki makinede işlem görmektedir. Bu işlerin belirli bir kriterin performansını optimize edecek şekilde sıralanması gerekmektedir. Bu tür problemler iş sıralama ya da iş çizelgeleme problemi olarak ifade edilir.

Pinedo (2008) çizelgelemeyi, belirli bir zaman sürecinde kaynakların işlere tahsis edilmesini ve bir veya daha fazla amacın optimizasyonunu hedefleyen, üretim ve hizmet sektörlerinin birçoğunda düzenli olarak kullanılan bir karar verme süreci olarak tanımlamıştır.

2.1.Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Çizelgeleme problemlerinin çözümü için birçok teknik ve yaklaşım geliştirilmiştir. Çizelgeleme problemleri, simülasyon çalışmalarının ve sezgisel yaklaşımların geliştirilmesi ve uygulanması için büyük yarar sağlamaktadır. Kullanılacak tekniklerin seçimi, problemin karmaşıklığına, modellemenin yapısına ve problemin amacına göre değişmektedir. Çizelgeleme problemleri işlerin geliş şekli, işletmedeki makine sayısı, üretim tipi ve performans ölçütü olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılır (Baker, 1974).

Çizelgeleme problemlerinde işlerin geliş şekline göre sınıflandırılması statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılır.

Statik durumda, tüm işler üretim alanında işlem görmek üzere hazır haldedir ve çizelgeleme süreci boyunca alana başka iş gelmemektedir. Ayrıca alana gelen işlerin geliş zamanları bilinmektedir.

Dinamik durumda, işlerin süreleri ve geliş zamanları bilgisi bilinmemektedir. İşler belli bir sürece göre sürekli gelebildiği için kuyruk oluşmakta ve sıralamada güncellemeler yapmak gerekmektedir. Dinamik durumlarda genel amaç, makine boş bekleme süresini ve kuyrukta bekleyen iş sayısını minimize etmek olabilir(Şenbay ,2018).

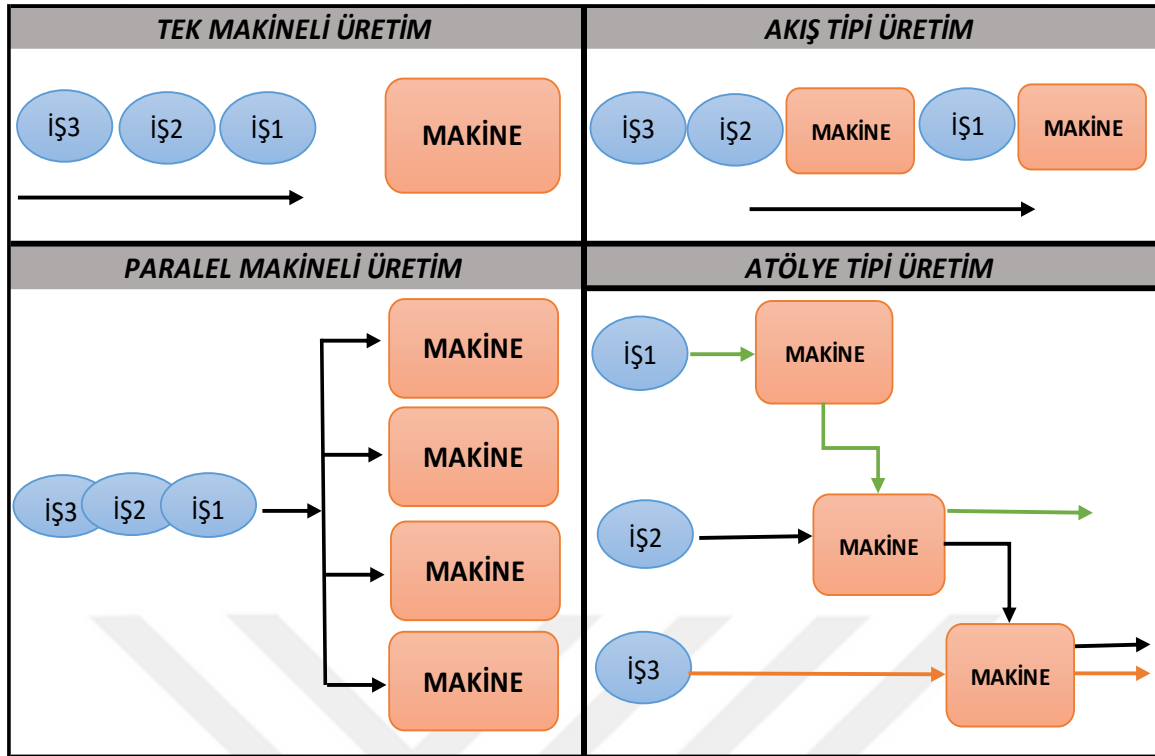
Günümüzde farklı özelliklere sahip üretim ortamları mevcuttur. Bu ortamların türü, çizelgeleme problemlerinin kısıtlarını ve özelliklerini şekillendireceği için çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılmasında birinci dereceden rol oynar. Çizelgeleme problemleri makine sayısına göre sınıflandırılırken; tek makine ortamı, paralel makine ortamı, akış atölyesi ve iş atölyesi gibi çeşitli makine ortamlarına göre sınıflandırılır ve her bir ortam için farklı nitelikler ve kısıtlamalar mevcuttur (Hermelin ve diğ.,2019)

Tek makineli problemler, işlerin sıralı bir şekilde yapıldığı ve diğer çizelgeleme problemlerine kıyasla daha basit yapıda olan bir çizelgeleme problemidir. Ayrıca tek makinenin bulunduğu ortamlara ait problemler, karmaşık yapıdaki ortamlara ait problemlerin de öncüsüdür. Tek makine ortamının genelleştirilmiş hali olarak kabul edilen paralel makine ortamı, m tane eş makinenin paralel pozisyonda dizayn edildiği bir sistemdir.(Baker, 1974)

Çizelgeleme problemlerini üretim tipine göre, akış tipi ve atölye tipi olmak üzere ikiye ayırabiliriz.

Akış tipi makine ortamında iş akışı, yapılacak olan her işin makinelerdeki işlem görme sırası aynı olacak şekilde tek bir yöndedir. Esnek akış tipi ortamı, paralel makine ortamı ve akış tipi ortamının karma hali olarak tanımlanmaktadır. Bu tür ortamlarda m adet makinenin varlığı söz konusu olup her işin her makinede işlem görme zorunluluğu yoktur. Yani her bir iş, kendine ait bir rotayı takip eder ve her iş herhangi bir makinede birden fazla operasyona sahip olabilir. Atölye tipi makine ortamında gerçekleştirilen çizelgeleme problemlerinde, her iş farklı sayıda operasyon görebilir ve her işin her makinede operasyon görme zorunluluğu yoktur. Dolayısıyla bir işlem yalnızca bir makinede yapılabilmekte ve her iş için izlenilen belirli bir rota mevcuttur. Son olarak da esnek atölye tipine sahip çizelgeleme problemi, klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin genişletilmiş halidir. EATÇ problemlerinde aynı amaç için aynı özelliklere sahip birden fazla makine bulunmaktadır. Ayrıca bu tür problemlerde işlerin hedeflenen durumlarına göre rotalaması ve sıralaması yapılmaktadır (Tanyaş ve Baskak,2017).

Üretim çizelgeleme problemlerinin genel görünümüne Şekil 2.1’de yer verilmiştir.



Şekil 2.1 Üretim çizelgeleme problem türleri

Çizelgelemenin ne oranda başarılı olduğunu görebilmek için kullanılan ölçütler performans ölçütü olarak ifade edilmektedir (French, 1982). Bu bağlamda yalnızca bir tane performans ölçütü kullanılabileceği gibi birden fazla ölçütle karşılaşmak mümkündür (Nelson ve diğ., 1986).

Problemi çözümlenebilmek için kullanılan teknikleri belirlerken performans ölçütünün de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çizelgeleme problemlerini performans ölçütlerine göre sınıflandırırken üç temel başlık altında toplayabiliriz. Bunlar tamamlanma süreleri, teslim zamanları ve tesisin verimli kullanımıyla ilgili performans ölçütleridir (Vollmann ve diğ., 2005)

1. Tamamlanma zamanlarıyla ilgili performans ölçütleri:

- En büyük tamamlanma zamanı
- Ortalama tamamlanma zamanı
- Ortalama akış süresi
- Ortalama bekleme süresi

2. Teslim zamanı ile ilgili performans ölçütleri:

İşletmeler açısından çok daha önemli bir yeri ve çok daha zor çözümleri olan ölçütlerdir.

Bu sınıfta yer alan performans ölçütleri şunlardır:

- En büyük gecikme süresi
- Geciken iş sayısı
- Ortalama gecikme

3. Tesisin verimli kullanılması ile ilgili performans ölçütleri: Bu sınıfta yer alan ölçütler makinelerin ve tesisin ne ölçüde verimli kullanıldığı ile ilgilidir ve aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Bekleyen iş sayısı
- Tamamlanmamış iş sayısı
- Makinelerin boş bekleme süresi

Çizelgeleme problemleri ile ilgili çalışmalar değerlendirildiğinde, tek performans ölçütlü çalışmaların daha fazla yer aldığı görülmektedir. Fakat son yıllarda çok performans ölçütlü çizelgeleme çalışmaları da yoğunluk kazanmıştır. Amaçların aynı anda en iyilenmesinin sağlanması mümkün olmadığından, yani; bir performans ölçütünün değerini en iyilerken diğer performans ölçütünün değeri azalabileceğinden dolayı çok amaçlı problemlerin çözümü, tek amaçlı problemlerin çözümü kadar kolay olmamaktadır.(Eren ve Güner, 2002).

2.2.Çizelgelemede Yapılan Çalışmaların Uygulama Alanları

Hizmet ve üretim alanının çoğunda çizelgeleme problemlerine rastlamak mümkündür.

Çizelgeleme problemleri; montaj hatlarının düzenlenmesi, tedarik zinciri planlaması ve çizelgelemesi, atölye çizelgelemesi, araç/ekipman/makine çizelgelemesi ve bunların rotalarının belirlenmesi gibi durumlarla üretim alanlarında sıkça karşımıza çıkmaktadır.

Hizmet sektörünün sağlık alanında, personel çizelgeleme problemleri üzerinde yapılan çalışmalar bir hayli artmıştır. Ulaşım alanında uçak, otobüs ve özellikle raylı sistemlerin kullanımının artış göstermesiyle beraber bu sistemde yer alan görevler ve araçlarda görev alan makinistleri/pilotları çizelgeleme problemleri kayda değer ölçüde önem kazanmıştır (Tapkan ve diğ.,2018).Eğitim alanında, genelde idari personel tarafından manuel yollarla, verimden uzak ve çeşitli karmaşıklıklara sebebiyet veren çizelgelemeleri ortadan kaldırmaya yönelik hazırlanan ders programı ve sınav çizelgeleme çalışmaları, literatürde sıkça karşımıza çıkmaktadır (Altunay ve Eren, 2018)

Ayrıca otel, araba ve havayolu rezervasyon sistemleri çizelgeleme ile çözüm aranan alanlar arasındadır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gerçek hayatta karşılaşılan çizelgeleme problemleri bir hayli karmaşık yapıda olup çözümü kolay olmayan problemlerdir. n :iş sayısı, m :makine sayısı şeklinde tanımlandığında, birbirinden farklı $(n!)^m$ adet sıralama yapmak mümkündür. Gelen iş sayısında ya da makine sayısında artış olması halinde sıralama sayısı da üstel olarak artmaktadır. Dolayısıyla ortaya çıkan alternatifler çözüm süresini de arttıracaktır. Bu bağlamda, çizelgeleme problemleri NP-zor sınıfında yer almakta ve çözümleri için çoğunlukla sezgisel yöntemler tercih edilmektedir. (Silver vd., 1998).

Tek makineli çizelgeleme problemleri, diğer çizelgeleme problemleriyle karşılaştırıldığında en basit yapıya sahip olanıdır. Tek makineli ortam, daha kompleks yapıdaki ortamlara ait problemlerin çözümünde kullanılabilmektedir.

Son yıllarda araştırmacıların çalışmalarında sıkça yer verdiği, aynı işlemi yapan m sayıdaki makinenin paralel olarak yerleştirildiği ortamları inceleyen paralel makine problemleri, işlerin her makinede kendi aralarında sıralanması ve birden fazla makineye dağıtılması gerektiğinden dolayı tek makine problemlerine kıyasla daha zordur. Paralel makine çizelgeleme problemlerinde, işlerin makinelere atanması ve her bir makineye atanan işlerin sıralamasının yapılması gibi üzerinde durulması gereken iki önemli karar vardır. Paralel makineli bir üretim sistemi; özdeş, benzer ve birbirinden bağımsız makineler olmak üzere kendi aralarında ayrılır. Söz konusu üretim ortamında aynı işi yapan, aynı hıza sahip makineler mevcut ise bu özdeş makine çizelgeleme problemidir. Bu tür paralel makinelerde işler, herhangi bir makinede işlem görebilmektedir. Aralarında nüanslık farklar bulunan makineler benzer makineler olarak adlandırılırken, makinelerin bazı özelliklerinin işlere bağlı olarak değiştiği makineler ise birbirinden bağımsız paralel makineler adını almaktadır. (Şenbay,2018).

Geriye dönük olarak tek ve paralel makineli problemler literatür kapsamında detaylı bir şekilde taranmıştır. Bu konuya dair yapılan çalışmalardan bazıları; yıl, konu, modelleme metodu ve çözüm yaklaşımlarını kapsayan bir sınıflandırma ile tabloda yer almıştır (Çizelge 3.1.)

Çizelge 3.1. Tek ve paralel makineli çizelgeleme problemi üzerine yapılan çalışmalardan bazıları

YIL	YAZAR	KONU	MODELLEME METODU	ÇÖZÜM YAKLAŞIMI
2018	Perez-Gonzalez ve Framinan	Periyodik Bakım	KTDP	SY
2017	Che ve diğ.	Enerji Verimliliği	KTDP	ε – kısıtlama yöntemi, YA
2017	Atmaca ve diğ.	Tip Dönüşüm Problemi	TDP	SBHZ, MM
2016	Souissi ve diğ.	Önleyici Bakım Planlama	KTDP	SY (LPT), DSA
2016	Ben-Yehoshua ve Mosheiov	Erken Teslim/Gecikme Cezası		DP
2015	Muştu ve Eren	Öğrenme Etkisi	KTDP	GA, KA, HA, ÇYDM
2015	Herr ve Goel	Grup Teknolojisi	KTDP	SY
2014	Akkocaoğlu	Sipariş Çizelgeleme Prob.	KTDP	SY
2013	Kaya	Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Prob.	KTDP	GA, SY
2012	Wang ve diğ.	Öğrenme Etkisi, Bozulma Etkisi	DOP	SY, DSA
2012	Li ve diğ.	Personel Çizelgeleme	TDP	SY
2012	Akyol ve Saraç	Montaj Hattı Çiz. Problemi	TDP	MM
2011	Özbakır	Gecikme Problem,	KTDP	SY
2011	James ve Almada-Lobo	Parti Büyüklüğü Belirleme	KTDP	SY
2009	Huang ve diğ.	Cmax Problemi	TDP	GA, SY
2007	Armentano ve Filho	Gecikme Problemi		DRAAP, SY
2007	Özdemir	Erkenlik/Geçlik Cezaları	KTDP	TA, SPT
2007	Anghinolfi ve Paolucci	Gecikme Problemi		TA, TB,
2003	Bard ve diğ.	Tur Planlama Problemi	TDP	MM
2003	Lin ve Jeng	Gecikme Problemi		DP, SY

Çizelge 3.2 Çözüm yaklaşımlarının açılımı

SY: Sezgisel Yöntem	SPT: En Küçük İşlem Süresi	MM: Matematiksel Model
KTDP: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama	LPT: En Uzun İşlem Süresi	TA: Tabu Arama
DP: Dinamik Programlama	SBHZ: Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanlı	YA: Yerel Arama
DOP: Doğrusal Olmayan Programlama	ÇYDM: Çift Yönlü Değişim Metodu	HA: Hibrit Algoritma
TDP: Tamsayılı Doğrusal Programlama	GA: Genetik Algoritma	KA: Kanguru Algoritması
DRAAP: Doyumsuz Rastsal Adaptiv Arama Prosedürü	DSA: Dal ve Sınır Algoritması	TB: Tavlama Benzetimi

White ve Wilson, toplam kurulum süresini en aza indirmek amacıyla sıra bağımlı hazırlık sürelerinin olduğu tek makineli bir problem geliştirmişlerdir. White ve Wilson, klasik Gezgin Satıcı Probleminin (GSP) bir çeşidi olan problemin çözümünde en yakın komşu kuralının varyasyonları olan çeşitli sezgisel yöntemler ve en uygun çözümü bulan dal-sınır algoritması kullanmışlardır (White and Wilson, 1977).

Nazif ve Lee (2009), sıra bağımsız hazırlık zamanlı tek makineli çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlar ve toplam ağırlıklı tamamlanma zamanını minimize etmek amacıyla genetik algoritma yönteminden faydalanmışlardır.

Cui ve Lu (2017), esnek önleyici bakıma sahip tek makinede üretim çizelgeleme problemini değerlendirmişlerdir. Yayılım süresini ve işin teslim süresini minimize etmek için sezgisel yöntemleri ve karma tam sayılı programlama yöntemlerini kullanmayı önermişlerdir.

Souissi ve diğ. (2016) çalışmasında son işin tamamlanma zamanını minimize etmeyi hedefleyen tek makine çizelgeleme problemi ele almışlardır. Problemin modellenmesi için karma tam sayılı programlama metoduna başvurmuşlar ve çözümünde de sezgisel yöntemlerden ve dal-sınır algoritmasından yararlanmışlardır.

Ben-Yehoshua ve Mosheiov (2016) ele aldıkları tek makineli problemde, erken biten iş sayının toplamını minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Problemin çözümü için dinamik programlama algoritması kullanmışlardır.

Muştu ve Eren (2015) farklı geliş süreleri olan ve öğrenmenin etkili olduğu tek makineli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Birlikte inceledikleri bu çalışmada toplam gecikme süresinin minimize etmeyi amaçlamışlardır. Problemin çözümünde ise genetik algoritma, kanguru algoritma ve genetik-kanguru hibrit algoritma yöntemlerine başvurmuşlardır.

Che ve diğ. (2017) çalışmalarında odaklandıkları nokta, toplam gecikme süresi ile enerji tüketimini minimize etmek üzerinedir. Problemi, karma tam sayılı programlama modeli olarak tasarlamışlar ve çözümü için ϵ -kısıtlama yöntemini kullanmışlardır.

Abedi ve diğ. (2017) bakım faaliyetlerinin sayısını ve işlerin sırasını belirlemenin yanı sıra enerji tüketimini en aza indirmeyi hedefleyen tek makineli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Bu problemi çözmek için, bir karma tamsayı doğrusal programlama modeline ilaveten genetik algoritma (GA) ve bir Hibrit Parçacık Sürü Algoritma (HPSO) yaklaşımını önermişlerdir.

Silva ve diğ. (2002) , sıra bağımlı ve bağımsız paralel makineli bir üretim sistemi probleminde uyguladıkları örnekler ile toplam tamamlanma zamanını en küçüklemeyi amaçlamışlar ve bu çalışmanın çözümünü karınca algoritması ile gerçekleştirmenin oldukça başarılı sonuçlar doğurduğunu paylaşmışlardır.

Akyol ve Saraç (2012) çalışmalarını montaj hatlarının çizelgelenmesi problemi üzerine yapmışlardır. Problemin çözümünde ise tek ve paralel makineleri baz alan matematiksel modeller önermişlerdir. Ortaya çıkan matematiksel modelleri

GAMS/Cplex aracılığıyla çözmüşler ve çıkan sonuçları öncesinde kullanılan çizelgeler ile kıyaslamışlardır.

Chen (2009), hazırlık zamanlarının olduğu ve teslim süresinin önem arz ettiği birbirinden bağımsız paralel makinelerin bulunduğu üretim ortamına sahip çalışmada toplam gecikmeyi en küçüklemeyi hedeflemiştir. Bu hedefe ulaşma yolunda ise tavlama benzetimi ile çizelgeleme yöntemini kullanarak iyi sonuçlar elde etmiştir.

Anghinolfi ve Paolucci (2007) tabu arama, tavlama benzetimi ve komşuluk arama yöntemlerinin birçok özelliğini aynı paydada toplayarak yeni bir meta sezgisel yöntem meydana getirmişlerdir. Bu çalışmalarında paralel makine ortamındaki toplam gecikmeyi en küçüklemeyi hedeflemişlerdir.

Heady ve Zhu (1998), sıra bağımlı hazırlık zamanı olan özdeş paralel makine ortamında tam sayılı programlama ile geç tamamlanma zamanı toplamını en küçüklemeyi amaçlamıştır.

Kashan ve diğ.(2008), farklı süre ve farklı büyüklükteki işlerin eş özellikteki paralel makine sisteminde ele alındığı, en son işin tamamlanma zamanını en küçüklenmesinin amaç edinildiği bir çalışma yapmışlardır. İlk olarak problem için alt sınır değerlerini gözden geçirmişler sonrasında da melez genetik algoritma tabanlı bir çözüm önermişlerdir.

Yalaoui ve Chu (2002) , işin yarıda bırakılmasına izin verilmeyen ve özdeş paralel makinelerin bulunduğu bir üretim ortamını ele alan problemde toplam gecikmeyi en küçükleme amaçlamışlardır. Rassal olarak belirledikleri algoritmayı ise dal sınır algoritmasını kullanarak çözüme kavuşturmuşlardır.

Mönch ve diğ.(2005), aynı işlem süresine ve farklı hazırlık zamanı kısıtına sahip işlerin yığın üretim ortamında, aynı özellikteki birden çok makinede çizelgelemesi problemini ele almışlardır. Çalışmadaki amaç, toplam gecikmenin en küçüklenmesidir. Problemin çözümünde ise genetik algoritma kullanarak işlerin makinelere atanması ve sıralanması sağlanmıştır.

Literatürde çizelgeleme problemlerinin yer aldığı çalışmalara bakıldığında zaman, büyük çoğunluğunda hazırlık sürelerinin göz ardı edildiği ya da operasyonun işlem süresine dahil edildiği görülmektedir. Analizi kolaylaştıran bu durumun, bazı uygulamalarda çözüm kalitesini düşürmesinden ve hazırlık sürelerine yok sayılamayacak kadar mesai harcanmasından dolayı işlem süresinin dışında ayrı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hazırlık sürelerinin olduğu çizelgeleme problemleri üzerine kapsamlı ilk literatür taraması Allahverdi ve diğ.(1999) tarafından gerçekleştirilmiştir.

James ve Almada-Lobo (2011), sıra bağımlı hazırlık zamanlı, kısıtlandırılmış parti büyüklüğüne sahip tek ve paralel makine çizelgeleme probleminin optimal çözümü için karma tam sayılı programlama tabanlı komşuluk arama sezgisel yaklaşımını geliştirmişlerdir.

Herr ve Goel (2015) yaptıkları çalışmada, toplam gecikmeyi minimize etmeyi amaçlayan sıra bağımlı hazırlık zamanlı, kaynak kısıtlamalı tek makineli çizelgeleme problemini sunmuşlardır.

Huang ve diğerleri (2009) sıra bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu, amacın en küçük toplam tamamlanma süresini elde etmek olduğu paralel makine çizelgeleme problemini çalışmalarına konu edinmişlerdir. Tam sayılı programlama modeli olarak tasarlanan problemin çözümü için ise genetik algoritma önermişlerdir. Problemden işler gruplandırılarak ve belirlenen makinelere atamaları gerçekleştirilerek karmaşıklık azaltılmak istenmiştir. Algoritma rassal seçilen veriler ve matbaa endüstrisinden elde edilen gerçek veriler ışığında incelenmiş ve her iki durum için de iyi sonuçlar alındığı ortaya konulmuştur.

Kolahan ve Liang (1998) sıra bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu, işlem sürelerindeki artışa ve azalışa bağlı olarak maliyetin doğrusal olarak değişiklik gösterdiği çizelgeleme problemi için yasaklı arama algoritması önermişlerdir.

Lee ve Asllani (2004), geciken iş sayısının ve en son işin tamamlanma zamanının en küçüklenmesini amaç edinen hazırlık sürenin söz konusu olduğu çalışmaları için 0-1 karma tam sayılı doğrusal bir matematiksel model ortaya koymuşlardır.

Rabadi ve diğ.(2004), amaç fonksiyonun toplam erken bitirme ve toplam gecikmenin doğrusal bileşiminden oluştuğu, hazırlık süresinin var olduğu bir problem ortaya koymuşlardır. Problemin çözümünde ise dal sınır algoritmasından faydalanarak yirmi beş işin yer aldığı problemleri makul süreler içerisinde çözebildiklerini göstermişlerdir.

Bilge ve diğ.(2004), çalışmalarında, temel amacı toplam gecikme süresinin en küçüklenmesi olan, sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş paralel makine problemine yer vermişlerdir. İşler birbirinden farklı işlem ve teslim süresine sahiptir. Ayrıca tabu aramanın önemli birkaç bileşenini detaylı incelemişler ve bu bileşenler için en iyi değerleri belirlemişlerdir.

Hazırlık zamanlarının olduğu çizelgeleme problemlerine dal sınır algoritması, dinamik programlama, tam sayılı programlama ve birçok sezgisel yöntem ile çözüm aranmıştır. Yalnızca hazırlık zamanlı uygulamalarda değil, orta ve büyük boyutlardaki çizelgeleme problemlerine göz atıldığında da çözüm yöntemlerinin genel olarak sezgisel yöntemlerden geçtiğini söyleyebiliriz.



4.PROBLEMİN TANIMI

Uygulamanın yapıldığı tekstil firması, 1985 yılında kurulmuştur. İstanbul'da bulunan merkez ofisi dışında Konya'nın Beyşehir ilçesinde de 322 bin m² entegre tesisi mevcuttur. Firma kuruluş tarihinden bu yana dünyanın önde gelen büyük spor giyim markalarına hizmet vermektedir ve tüm üretimini yurtdışına yapmaktadır.

Çalışma iplik, örgü, boyahane, baskı, kesimhane ve konfeksiyon gibi bölümleri bünyesinde barındıran, Avrupa tedarik zincirinde önemli bir yere sahip olan kurumsal ve küresel yapıdaki entegre tekstil firmasının Beyşehir lokasyonunun boyahane bölümünde gerçekleştirilmiştir. Ele alınan problem, hazırlık süreli sıra bağımlı paralel makine çizelgeleme problemi üzerinedir.

Uygulamanın bahsi geçen fabrikada tercih edilmesinin sebepleri arasında; söz konusu işletmede üretimin belirlenen termin süresine yetiyecek hızda, istenilen kalitede yapılıyor olması, alınacak aksiyonların buna hizmet etmesi ve uygulamanın denenebileceği makine ortamlarına sahip olması ve ürün yelpazesinin geniş olması gibi etkenler vardır.

İşletmede çizelgeleme işlemi; tedarik geçilen müşteri siparişlerinin termin tarihine göre sıralama yapılması şeklindedir. Öncelik durumuna ve işletme şefinin tecrübelerine bağlı olarak yapılan bu sıralama; bazen iş aksamalarına, termin sürelerinin planlanan zamandan daha uzun sürmesine ve ara stokların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Ayrıca renk geçişlerindeki hazırlık sürelerinin oluşu ekstra makine temizliği gerektirdiği için su ve enerji kaybına yol açmaktadır bu da maliyet artışına ve verimlilik kaybına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada amaç fonksiyonu; son işin tamamlanma zamanını ve toplam gecikme süresini en küçüklemeyi hedeflemektir.

4.1 Kumaş Boyama Makinelerinin Özellikleri ve Kumaş Boyama Prosesi

Çizelge.4.1. Kumaş boyama makinesinin özellikleri

MAKİNE KAPASİTESİ (kg)	GÖZ SAYISI(Adet)	BOYAHANE MEVCUDİYETİ (Adet)
1250	5	3
1000	4	3
750	3	2
500	2	3
250	1	2
50	1	3
25	1	1



Şekil 4.1. Kumaş boyama makinesinin görünümü

Kumaş boyama makinesine ait görünüm yukarıdaki Şekil 4.1’de yer almaktadır.
(www.canlartm.com.tr, 2021)

- Söz konusu boyahanede kullanılan kumaş boyama makineleri 3 adet 1250 kg, 3 adet 1000 kg, 2 adet 750 kg, 3 adet 500 kg, 2 adet 250 kg, 3 adet 50 kg ve 1 adet 25 kg kapasiteli olmak üzere toplam 17 makine çalıştırılmaktadır.
- Her kumaş cinsinde 10kg'dan 1250 kg'a kadar yükleme kapasiteleri mevcuttur.

- Üretime elverişli paslanmaz çelik ve kaliteli elektrik-elektronik malzemelerden yapılmıştır.
- Otomatik ve dokunmatik ekrana sahip otomasyon sistemi mevcuttur.
- Boya kazanlarına bağlı olarak çalışan kimyasal ve boya tankları mevcuttur. Bu tankların mikser ve dozajlama fonksiyonları vardır. Makinelere boya ve kimyasal aktarımı bu tanklar sayesinde yapılmaktadır. Tanklara aktarım ise otomasyon sistemine bağlı bir yazılım kullanılarak mevcut hatlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. İki adet boya,1 adet kimyasal hattı bulunmaktadır.
- Kumaş cinsine ve ağırlığına göre değiştirilebilir ve ayarlanabilir düze, pompa, kule ve plater sistemi mevcuttur.
- Otomatik plaiter sistemi, ayarlanabilir hız sistemi, çift filtre ve çift eşanjör sistemi mevcuttur.
- Otomatik uç bulma sensörü ve iç aydınlatma gibi birçok teknik özelliğe sahiptir.

Boyahane bölümünde boyama prosesi işlemleri şunlardır: kasar, boyama ve yıkama.

Ham kumaşlar; mum, yağ, çeşitli yabancı ve artık maddeler içerir. Bu maddeler kumaşın yapısını ve dış görünümünü bozmakta ve boyama işlemini zorlaştırmaktadır. İstenmeyen bu maddeler boyahaneye gelmeden önce çeşitli makinelerle giderilmeye çalışılsa da ham kumaşlara nüfuz etmesi tam anlamıyla engellenemez. Kasar işlemi bu maddeleri ham kumaştan uzaklaştırabilmek için uygulanmaktadır. Kasar işlemi gerçekleştirilirken asit ısıtıcı, iyon tutucu, kırık önleyici, yağ sökücü, ağartıcı, elyaf şişirici ve ph düşürücü kimyasallar kullanılmaktadır.

Boyama işlemi, istenilen rengi elde etmek için kumaşın kilogramına, boya makinelerinin kapasitesine ve flotte oranına göre önceden belirlenen miktarlarda kombine haline getirilmiş boyalar ve boyayı kumaşa fikselemeye yarayan tuz/sülfat ve katı/sıvı soda eklenerek yapılmaktadır.

Yıkama işlemi ise, boyama işlemi tamamlanan kumaşın asit ve sabun kullanılarak belli bir süre boya makinelerinde gördüğü işleme denilmektedir.

Boyama işlemi aşağıda yer alan aşamaları takip etmektedir:

- Boya kazanı yıkanıp aynı renge boyanacak olan kumaşlar kazanın her bir gözüne yerleştirilir.
- Öncelikle kasar işlemi için gerekli olan kimyasallar bildirimle kimyasal tankına gönderilir. Sonrasında tanktan boya kazanına aktarılarak kasar işlemi gerçekleştirilir.

- Kasar işlemleri tamamlandıktan sonra otomasyonla hazırlanıp mikserlenen renkler boya tankına oradan da boya kazanına gönderilir.
- Boyama işlemleri, hali hazırda bulunan otomasyon sistemi sayesinde operatör kontrolünde gerçekleştirilir.
- Boyama işleminin tamamlanmasının ardından yazılımda yer bulan adımlar takip edilerek yıkama işlemleri gerçekleştirilmiş olur.
- İstenilen renk elde edildiyse onaylanır, elde edilemediyse ilave boyamalar ya da kazan içerisindeki ek işlemlerle hedefe ulaşılmaya çalışılır.
- Gerekli işlemlerin tümü yapıldıktan sonra ürünler, operatörler tarafından boşaltma araçlarına doldurulur.

Bu iş akışı aynı renge boyanacak ürünler olması halinde herhangi bir hazırlık süresine gerek duymadan devam eder. Eğer kumaş farklı bir renkte işlem göreceksa boya kazanının tekrardan yıkanması gerekmektedir. Ayrıca renk ve kumaş cinsi farklılığından dolayı otomasyon sisteminin işlemlerinde, sırasında ve süresinde birtakım farklılıklar yaşanabilir.

5.ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI VE MATEMATİKSEL MODEL

Çizelgeleme problemlerinin çözüm yaklaşımları, parametrelerin belirgin ve belirsiz olduğu durumu ifade eden problem yapısına ve tek makinalı ortam ve çok makineli ortama göre değişiklik gösteren atölye şekline bağlı olarak değişmektedir.

Problem yapısı: Yapılan işlerin süreleri ve parametreleri kesin olarak belirlenebiliyor ise bu tür problemler deterministik çizelgeleme, belirlenemiyor ise stokastik çizelgeleme problemi olarak adlandırılır. Bu durumda stokastik parametreler rastgele değişkenlerle modellenir. Bu rastgele değişkenler de bilinen bir olasılık dağılıma göre dağılır. Dağılım belirlenirken esas alınması gereken nokta, parametrelerin davranışlarına uygun dağılımın tercih edilmesidir.(Eren ve Güner,2002)

Atölye şekli: Yapılacak işler için tek bir operasyon yeterliyse bu tek makineli bir problemdir ve işlerin hangi sırada yapılacağı belirlenir. Paralel makinalı problemlerde, sisteme gelen işler mevcut düzende yer alan makinelerin herhangi birinde işlem görebilir. Seri akışlı ve karmaşık akışlı problemlerde ise işlerin birden fazla işlemden geçmesi gerekir. Seri akışlı problemlerde tüm işler aynı rotayı takip ederken karmaşık akışlı problemlerde her bir iş farklı bir rotayı takip eder (Baker ve Wiley,1974). Bu çalışmada tek makinalı ortama ait çizelgeleme problemi incelenecektir.

Çizelgeleme problemleri, en iyileme problemleri olmasından dolayı P ya da NP problemler olarak tanımlanmaktadır. P tipi problemler, polinom zaman sınırlı bir algoritma kullanılarak çözülebilmektedir. NP tipi problemler için ise, polinom zaman sınırlı bir algoritmanın bulunması mümkün olmamakla birlikte bu problemlerin en iyilenmesi ancak üstel zamanda çözümle mümkün olacaktır. Çizelgeleme problemlerinin hemen hemen hepsi NP-zor yapıdadır. Bu tür problemlerin çözümü için en iyi çözümü garanti eden matematiksel yöntemler kullanmanın yanı sıra, daha kısa sürede optimuma yakın bir çözüm elde etmeye yarayan sezgisel yöntemler de kullanılmaktadır (Kan,1976; Lenstra,1985).

Çizelgeleme çalışmaları, analitik yöntemler veya sezgisel yöntemler aracılığıyla sınırlı kaynakların belirli görevlere atanması işlemini gerçekleştirmektedir. Bu sayede firmanın amaç ve hedeflerine ulaşma noktasında en iyi sonuçları elde etmesi sağlanmış olur (Baker,1974;Baker ve Schrage,1978).

Analitik Yöntemler: Bu yöntemler kısıtlar ve amaç denklemlerini içermektedir ve problemin çözümü için en iyi çözümü sunmaktadır.

Sezgisel Yöntemler: Belirli varsayımlarla problemin çözümü için yaklaşık sonuçlar sunan yöntemlerdir.

Çizelgeleme problemlerinde, sezgisel yöntemler karmaşık yapılı ya da büyük boyutlu problemlerde en iyiye yakın çözümleri istenilen sürede üretilebilmektedir. Sıralama kurallarının yanı sıra, Genetik Algoritma, Karınca Koloni Algoritması, Tabu Arama Yöntemi, Tavlama Benzetimi gibi çeşitli yöntemlerden oluşmaktadır.

Analitik yöntemler ise; dinamik programlama, doğrusal programlama, dal-sınır algoritması gibi kesin çözümler üreten matematiksel programlamayı içermektedir. Fakat bu yöntemler, büyük hacimli çizelgeleme problemlerinde minimal sürelerde, etkin çözümler oluşturmakta yeterli gelmemektedir.

5.1.Problemin Varsayımları ve Çizelgeleme Parametreleri

Problem aşağıda yer alan özellikleri içermektedir:

- Paralel makinede n adet iş ($i, j = 1, 2, 3 \dots N$) yapılmaktadır ve işler sıfırinci zamanda hazırdır.
- Siparişler önceden bilinmekte ve iş planlaması önceden yapılmaktadır.
- Yeni iş kabul edilememekte ve mevcut iş listeden çıkartılamamaktadır.
- Makine sürekli çalışır durumdadır.
- İş kesintisine izin verilmemektedir.
- İşler arası geçişlerde önceden bilinen hazırlık süreleri probleme dahil edilmektedir. Hazırlık süreleri işin sıralamasına bağımlıdır (Ceylan ve diğ,2019).

İndisler

İndis	Tanım Kümesi	
i, j	İş Kümesi	$i, j = 1, 2, 3, \dots N$
m	Sıra Kümesi	$m = 1, 2, 3, \dots S$
t	Makine Kümesi	$t = 1, 2, 3, \dots M$

$i, j \in N$ İş indislerini göstermek için kullanılan indislerdir.

$m \in S$ Sıra indisini göstermek için kullanılan indistir.

$t \in M$ Makine indisini göstermek için kullanılan indistir.

Parametreler

- p_i : i işinin işlem süresi
 s_{ij} : i işinden j işine geçiş için gerekli olan hazırlık süresi
 d_i : i işinin teslim zamanı

Karar Değişkenleri

- x_{tim} : Eğer i işi t makinesinde m. sırada boyanacak ise 1, aksi durumda 0
 y_{tmij} : t makinesinde m. sıradaki i işinden j işine geçiliyorsa 1, aksi durumda 0
 c_{tm} : t makinesinde m. sıradaki işin boyama işleminin bitiş zamanı
 s_{tm}^+ : t makinesinde m konumundaki işin gecikmesi
 s_{tm}^- : t makinesinde m konumundaki işin erken bitmesi

Amaç Fonksiyonu

Problemin geliştirilen modelindeki amaç toplam gecikme süresini minimize etmektir.

$$\min Z = \sum_t \sum_m s_{tm}^+ \quad (5.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_i x_{tim} \leq 1 \quad \forall t \in M, m \in S \quad (5.2)$$

$$\sum_t \sum_m x_{tim} = 1 \quad \forall i \in N \quad (5.3)$$

$$c_{tm} = \sum_t x_{tim} * p_i \quad \forall i \in N, m = 1 \text{ } m \in S \quad (5.4)$$

$$1 + y_{tmij} \geq x_{tim} + x_{tjm-1} \quad \forall i \neq j, m > 1 \text{ } i, j \in N, m \in S, t \in M \quad (5.5)$$

$$c_{tm} = \sum_i x_{tim} * p_i + \sum_i \sum_j y_{tmij} * s_{ij} + c_{tm-1} \quad \forall t \in M, m > 1 \text{ } m \in S \quad (5.6)$$

$$c_{tm} - s_{tm}^+ + s_{tm}^- = \sum_i x_{tim} * d_i \quad \forall t \in M, m \in S \quad (5.7)$$

$$x_{tim} \in \{0,1\} \quad \forall t \in M, i \in N, m \in S \quad (5.8)$$

$$y_{tmij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, t \in M, m \in S \quad (5.9)$$

$$c_{tm} \geq 0 \quad \forall t \in M, m \in S \quad (5.10)$$

$$s_{tm}^+, s_{tm}^- \geq 0 \quad \forall i \in N \quad (5.11)$$

(5.1) Amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Amaç toplam gecikmeyi en küçükmektir.

(5.2) Her makinedeki her konuma en fazla bir işin atanmasını sağlamaktadır.

(5.3) Her işin mutlaka bir makine ve bir konuma atanmasını garanti etmektedir.

(5.4) t makinesindeki ilk işin tamamlanma zamanı göstermektedir. t makinesindeki ilk işin tamamlanma zamanı, t makinesinde ilk sıraya atanan (m=1) işin işlem süresine eşittir.

(5.5) t makinesinde m. sıradaki i işinden j işine geçilme durumunu gösteren y_{tmij} karar değişkeninin 0 veya 1 değerini almasını sağlamaktadır.

(5.6)t. makinede m. sıradaki işin tamamlanma zamanını ifade etmektedir. Bu tamamlanma zamanı, kendinden önceki işin tamamlanma zamanının üzerine (m-1). sıradaki işin işlem süresinin ve i işinden j işine geçildiğinde gerekli olan hazırlık süresinin eklenmesiyle elde edilir.

(5.7) numaralı kısıt ile t. makinede m. sıradaki işin tamamlanma zamanının hedef değere yani teslim süresine eşit olması sağlanır. s_{tm}^+ değişkeni hedeflenen değerden pozitif yönlü sapmayı yani gecikmeyi ifade etmektedir. Pozitif yönlü bu sapma istenilen bir durum olmadığı için amaç fonksiyonunda en küçüklenmek istenecektir.

(5.8) - (5.11) karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır.

Geliştirilen matematiksel modelin çözümü için GAMS/CPLEX çözücüsü kullanılacaktır. Bu çözücüyle elde edilen sonuçlara ilerleyen bölümlerde yer verilecektir.

5.2 Çizelgelemede Öncelik Kuralları

Çizelgelemede işlem öncelik kuralları, işletmede art arda gelen işlerin özelliklerine göre hangi sıra ile devam edeceğini belirleyen kurallardır (Saad vd., 1997; Pinedo ve Chao, 1999)

Problem çözümüne olabildiğince hızlı cevap verdiği bilinen Shortest Processing Time (SPT), Longest Processing Time (LPT), First Come First Serve (FCFS), Last Come First Serve (LCFS), Earliest Due Date First (EDD), Shortest Setup Time First (SST), Largest Number of Successors (LNS) ve Critical Path (CP) gibi öncelik kurallarından bazıları aşağıdaki gibidir. Çalışmada da bu öncelik kuralları dikkate alınacaktır.

En kısa işlem süreli işin önce yapıldığı iş olarak bilinen SPT’de sıralama, istasyona gelen işler arasında işlem süresi en kısa olandan en uzun olan işe doğru yapılmaktadır. Bu kural, gerçekleştirilen üretim çıktılarının artmasını sağlarken geciken işlerin sayısını da azalmaktadır (Saad vd.,1997).

En uzun işlem süreli işin önce yapıldığı LPT kuralına göre sıralama, işlem süresinin en uzun olduğu işten en kısa olduğu işe doğru öncelik verilerek yapılmaktadır.

Literatürde First In First Out (FIFO) olarak da bilinen (Saad vd., 1997) FCFS, yani ilk gelen işin ilk önce yapıldığı kurala göre; sıralamada siparişin üretim merkezine geliş sırası önemlidir ve ilk gelen sipariş ilk sırada yer almaktadır.

Son gelen işin önce yapıldığı LCFS kuralına göre, sisteme gelen işlerden sonuncusu ilk sırada, sondan bir önceki gelen iş ikinci sırada yapılmaktadır ve sıralama bu şekilde devam etmektedir (Şenbay,2018)

Teslim tarihi önce olan işe öncelik verildiği EDD kuralına göre sıralama, teslim tarihi en erken olan işten en geç olan işe doğru yapılmaktadır (Pinedo ve Chao, 1999). Bu kuralın uygulanmasıyla söz konusu teslim tarihinde işlerin teslim edilme performansları artış sağlayacaktır (Saad vd.,1997).

En kısa hazırlık zamanına sahip işin önce yapıldığı SST kuralında, en kısa hazırlık süresine sahip olan işlere öncelik verilmesiyle ortalama gecikme sürelerinin azalması beklenmektedir.

Sonraki proses işlemleri sayısı en fazla olan işin önce yapıldığı LNS kuralı, işlem görmüş işin sonraki işlem sayısı en fazla olan iş ilk olarak yapılmaktadır. (Şenbay,2018)

Kritik yol üzerindeki işlerin önce yapıldığı CP kuralına göre, kritik yol üzerindeki işler önce yapılmakta ve üretim ortamına gelen işlerin sıralaması öncelik kısıtlarına göre yapılmaktadır (Pinedo ve Chao, 1999).



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ele alınan matematiksel modelin çözüm aşamasında GAMS/Cplex çözücüsünden yararlanılmıştır. Farklı boyutlarda iş ve makine özelliklerine sahip toplamda otuz beş adet test problemi türetilerek bu problemlerin çözümleri karşılaştırılmıştır.

İşlerin operasyon süreleri, boyanan kumaşların renkleri ve teslim sürelerini kapsayan, uygulamanın yapıldığı işletmenin gerçek veri tablosu Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Probleme ait veriler

İş İndisi	Renk İndisi	İşlem Süresi(dk)	Teslim Süresi(dk)
i	b(i)	p(i)	d(i)
1	1	785	1708
2	2	985	1885
3	3	400	1315
4	1	1080	2285
5	4	670	1593
6	5	850	1829
7	6	665	1620
8	4	650	1520
9	7	190	1040
10	7	185	1080
11	9	755	1750
12	8	840	1915
13	9	1100	2148
14	6	980	2400
15	2	960	1935
16	3	370	1365
17	3	350	1310
18	2	855	1834
19	1	850	1967
20	5	905	1850
21	8	840	1759
22	9	1000	2313
23	7	195	1110
24	3	790	1755
25	2	860	1927
26	5	870	1783
27	1	840	1929
28	6	710	1780
29	4	880	1770
30	8	860	1830

Renkler arası geçişlerde gerekli olan sıra bağımlı hazırlık sürelerinin (dakika) yer aldığı bilgilere ise Çizelge 6.2’de yer verilmiştir.

Çizelge 6.2 Sıra bağımlı hazırlık süresi matrisi

s(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	90	90	150	150	150	180	180	180
2	90	0	90	150	150	150	180	180	180
3	90	90	0	150	150	150	180	180	180
4	150	150	150	0	120	120	150	150	150
5	150	150	150	120	0	120	150	150	150
6	150	150	150	120	120	0	150	150	150
7	180	180	180	150	150	150	0	90	90
8	180	180	180	150	150	150	90	0	90
9	180	180	180	150	150	150	90	90	0

6.1 Deney Tasarımı

Literatürdeki özdeş paralel makine problemleri incelenerek geliştirilen algoritma $n=10$, $n=15$, $n=20$, $n=25$ ve $n=30$ iş için $t=3$, $t=4$, $t=5$, $t=6$ ve $t=7$ makine ortamı üzerinde test edilmiştir. Ele alınan verilerin GAMS çözüm sonuçları detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

6.1.1 Deney tasarım grubu -1

10 iş için hazırlanan problem, farklı sayıdaki makine ortamında gerçekleştirilmiş ve dakika cinsinden yansıtılan bu problem verilerine Çizelge 6.3’ten ulaşılmaktadır.

Çizelge 6.3 Deneysel tasarım grubu-1 verileri

İş İndisi	Renk İndisi	İşlem Süresi	Teslim Süresi
i	b(i)	p(i)	d(i)
1	1	785	1708
2	2	985	1885
3	3	400	1315
4	1	1080	2285
5	4	670	1593
6	5	850	1829
7	6	665	1620
8	4	650	1520
9	7	190	1040
10	7	185	1080

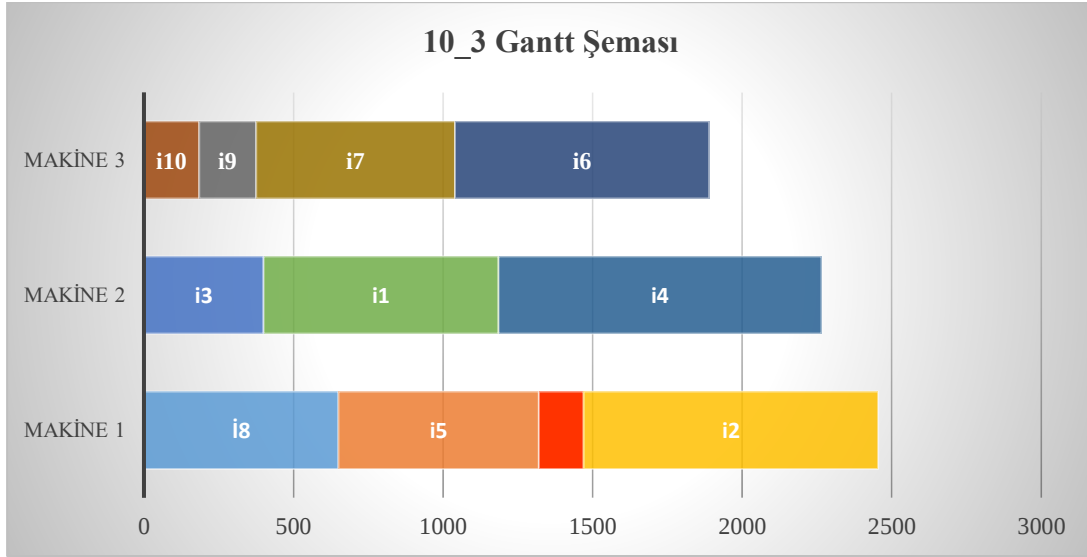
Her bir işin farklı sayılarda türetilen makinelerdeki sıralama tablosu ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin de dahil edildiği Gantt şemaları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 6.4 Deney tasarım grubu-1 iş sıralaması

İş_Makine	Makine	Sıralama
10_3	M1	8-5-2
	M2	3-1-4
	M3	10-9-7-6
10_4	M1	8-1
	M2	7-6
	M3	10-9-3-4
	M4	5-2
10_5	M1	1-6
	M2	2-4
	M3	9
	M4	3-10-5
	M5	7-8
10_6	M1	1
	M2	8-5
	M3	9
	M4	10-3
	M5	6-4
	M6	7-2
10_7	M1	1
	M2	10-7
	M3	5-8
	M4	4
	M5	3-2
	M6	9
	M7	6

Tabloda yer alan, işlerin makinelerde çizelgelenmesinin Gantt şeması ile gösterim şekli aşağıdaki gibidir. Şemada yer alan her bir iş, farklı renkler aracılığıyla ifade edilmiştir. Kırmızı renkli kutucuklar ise bir işten başka bir işe geçerken gerek duyulan hazırlık zamanını, yani makinelerin otomasyondaki pamuk ve polyester yıkama sürelerini göstermektedir. Bu süreler boyanan renklerin tonlarına göre belirlenmiştir. Açık, orta ve koyu renkler arasındaki geçişlerde makine yıkama süreleri farklılık göstermektedir. Kumaş, açık renk kabul edilen bir renge boyanmışsa ve sonrasında koyu renk kabul edilen bir renge boyanacak ise ya da tam tersi bir durum söz konusu ise hazırlık süreleri diğer tüm renk geçişlerindeki hazırlık sürelerinden fazla olacaktır. Eğer iş sıralaması açık renkten açık renge, orta renkten orta renge ya da koyu renkten başka bir koyu renge olacak

şekilde ise hazırlık süreleri diğer renk geçişlerindeki hazırlık sürelerine nazaran daha az olacaktır.



Şekil 6.1 10_3 Gantt şeması gösterimi

10 iş 3 makine ortamında birinci makinede işler sırasıyla 8-5-2 şeklinde sıralanmıştır. Beşinci işten ikinci işe geçerken hazırlık süresi olarak kabul gören makine yıkama süresi kırmızı ile ifade edilmiş ve makinedeki işlerin tamamlanma süresine eklenmiştir. İkinci makinede işler sırasıyla 3-1-4, üçüncü makinede ise 10-9-7-6 şeklinde sıralanmıştır. İkinci ve üçüncü makinede yapılan işler esnasında herhangi bir hazırlık süresine ihtiyaç duyulmamıştır.

Çizelge 6.5 10_3 İşlerin tamamlanma zamanı

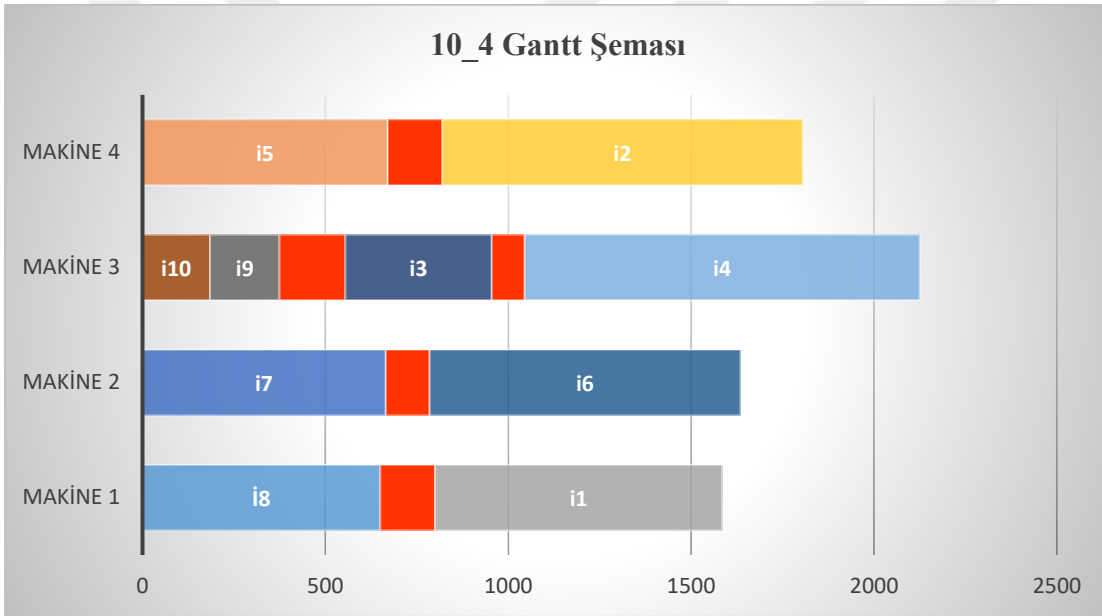
İş_Makine (10_3)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	1275
2	2455
3	400
4	2355
5	1320
6	2160
7	1190
8	650
9	375
10	185

Yukarıdaki çizelgede ise 10 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=3$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.

Çizelge 6.6 Makinelerin gösterimi için kullanılan renkler

Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7

Makinelerin her biri farklı renklerle gösterilmiş ve makinelere atanan işlerin her birinin boyamalarının tamamlanma zamanları ifade edilmiştir.



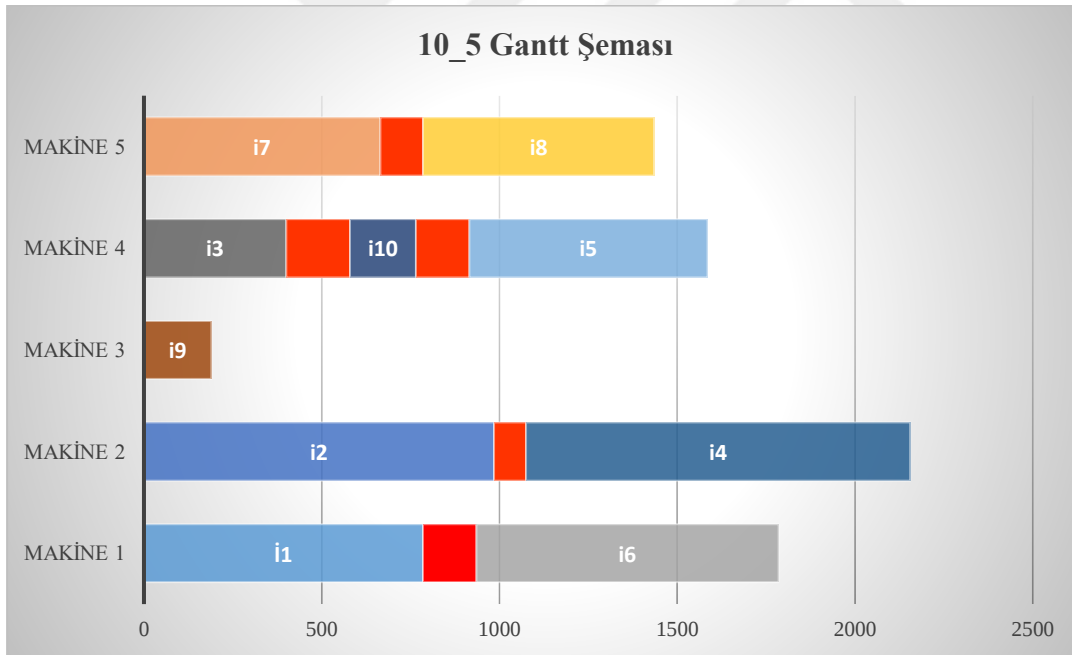
Şekil 6.2 10_4 Gantt şeması gösterimi

10 iş 4 makine ortamında birinci makinede işler sırasıyla 8-1, ikinci makinede 7-6 şeklinde sıralanmıştır. Üçüncü makinede işler sırasıyla 10-9-3-4, dördüncü makinede ise işlerin 5-2 şeklinde makinelere ataması yapılmıştır. Sekizinci işten birinci işe, yedinci işten altıncı işe, dokuzuncu işten üçüncü işe, üçüncü işten dördüncü işe ve son olarak beşinci işten ikinci işe geçerken hazırlık süresine gerek duyulmuştur ve makinedeki işlerin tamamlanma süresine eklenmiştir.

Çizelge 6.7 10_4 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (10_4)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	1585
2	1805
3	1105
4	2275
5	670
6	1755
7	665
8	650
9	525
10	335

Yukarıdaki tabloda 10 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=4$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.



Şekil 6.3 10_5 Gantt şeması gösterimi

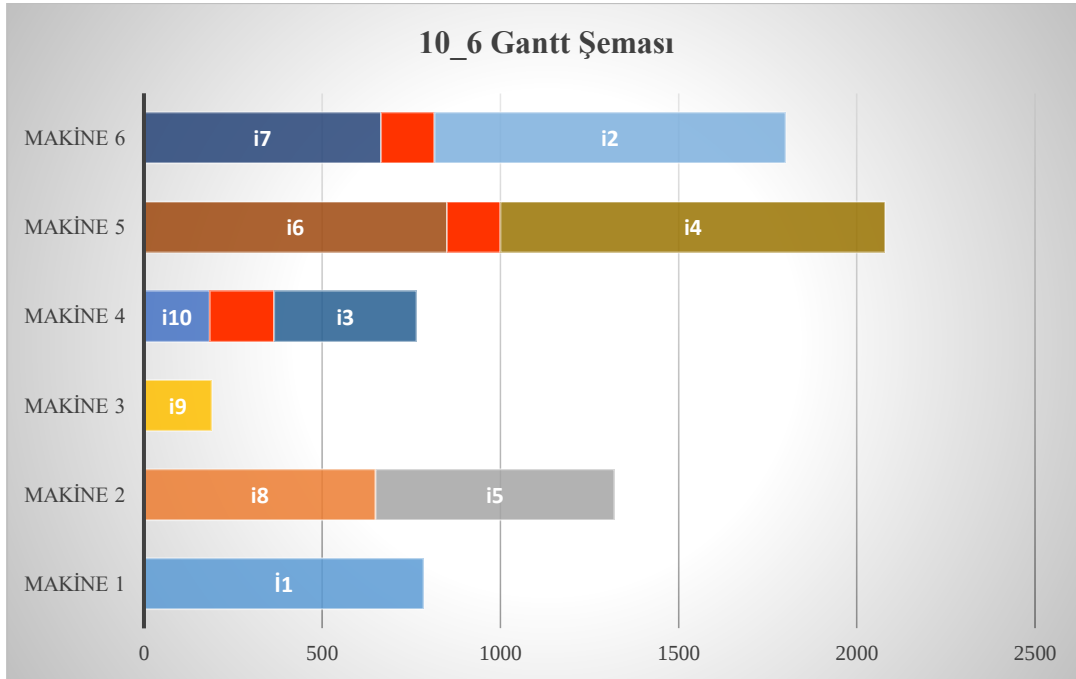
10 iş 5 makine ortamında; birinci makinede işler sırası ile 1-6, ikinci makinede 2-4, üçüncü makinede yalnızca 9, dördüncü makinede 3-10-5 ve beşinci makinede 7-8 olacak şekilde sıralanmıştır. Birinci işten altıncı işe, ikinci işten dördüncü işe, üçüncü işten onuncu işe, onuncu işten beşinci işe ve yedinci işten sekizinci işe

geçmeden önce renklerin tonlarına göre belirlenen makine yıkama süreleri-hazırlık süreleri- mevcuttur.

Çizelge 6.8 10_5 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (10_5)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	785
2	985
3	400
4	2155
5	1585
6	1785
7	665
8	1435
9	190
10	765

Yukarıdaki tabloda 10 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=5$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.



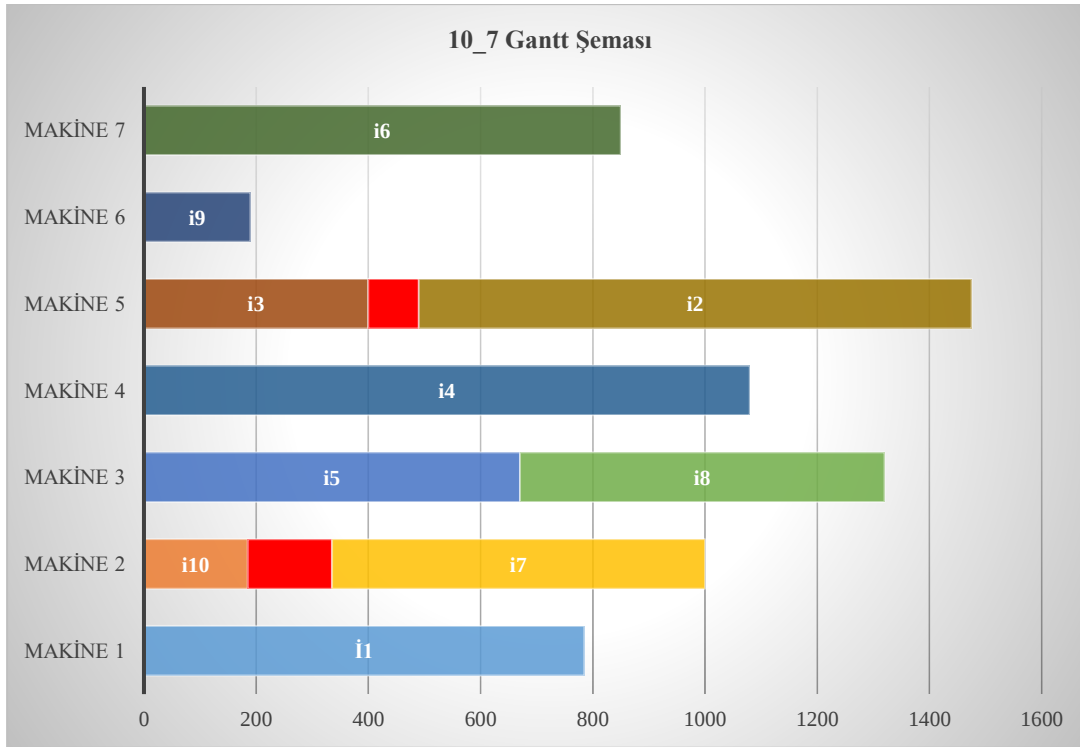
Şekil 6.4 10_6 Gantt şeması gösterimi

10 iş 6 makine ortamında bulunan optimal sonuca göre; birinci makineye yalnızca birinci iş, ikinci makineye 8-5, üçüncü makineye yalnızca 9, dördüncü makineye 10-3, beşinci makineye 6-4, altıncı makineye 7-2 sıralamasıyla işlerin atamaları yapılmıştır. Dördüncü, beşinci ve altıncı makinelere atanan işler arasında hazırlık sürelerine ihtiyaç duyulmuştur.

Çizelge 6.9 10_6 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (10_6)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	935
2	1800
3	765
4	2080
5	1320
6	850
7	665
8	650
9	190
10	185

Yukarıdaki tabloda 10 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=6$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.



Şekil 6.5 10_7 Gantt şeması gösterimi

10 iş 7 makine ortamına göre tasarlanan problem sonuçlarına göre; birinci makineye birinci iş, ikinci makineye sırasıyla 10-7, üçüncü makineye 5-8, dördüncü makineye sadece dört, beşinci makineye sırasıyla 3-2, altıncı makineye 9 ve yedinci makineye ise 6.iş konumlandırılmıştır.

Çizelge 6.10 10_7 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (10_7)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	785
2	1475
3	400
4	1080
5	670
6	850
7	1150
8	1320
9	190
10	185

Yukarıdaki tabloda 10 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=7$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.

Çizelge 6.11 Deney tasarım grubu-1'in çözüm sonuçları

İş Sayısı-Makine Sayısı	Amaç Fonksiyonu	Gams Çözüm Durumu	Çözüm Süresi(sn.)
10_3	971	Optimal Çözüm	103,57
10_4	0	Optimal Çözüm	99,2

10_5,10_6 ve 10_7 deneysel tasarımlarında optimal çözüme ulaşılarak amaç fonksiyon değeri 0 olarak hesaplanmıştır.

İş sayısının 10 olarak tasarlandığı problemin GAMS çözümlerine bakıldığında, tüm makine tasarımları için optimal sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Amaç fonksiyonu, $t=3$ makine ortamı dışında tüm makine ortamlarında en küçüklenmiş ve 0 değeri elde edilmiştir. Çözüm sürelerine bakıldığında ise 0,59 sn. ile 10 iş 7 makine en iyi çözüm olarak görünmektedir.

6.1.2 Deney tasarım grubu-2

15 iş için hazırlanan problem, farklı sayılardaki makine ortamlarında gerçekleştirilmiş ve dakika cinsinden yansıtılan bu probleme ait verilere Çizelge 6.12 üzerinden ulaşılmaktadır.

Çizelge 6.12 Deneysel tasarım grubu-2 verileri

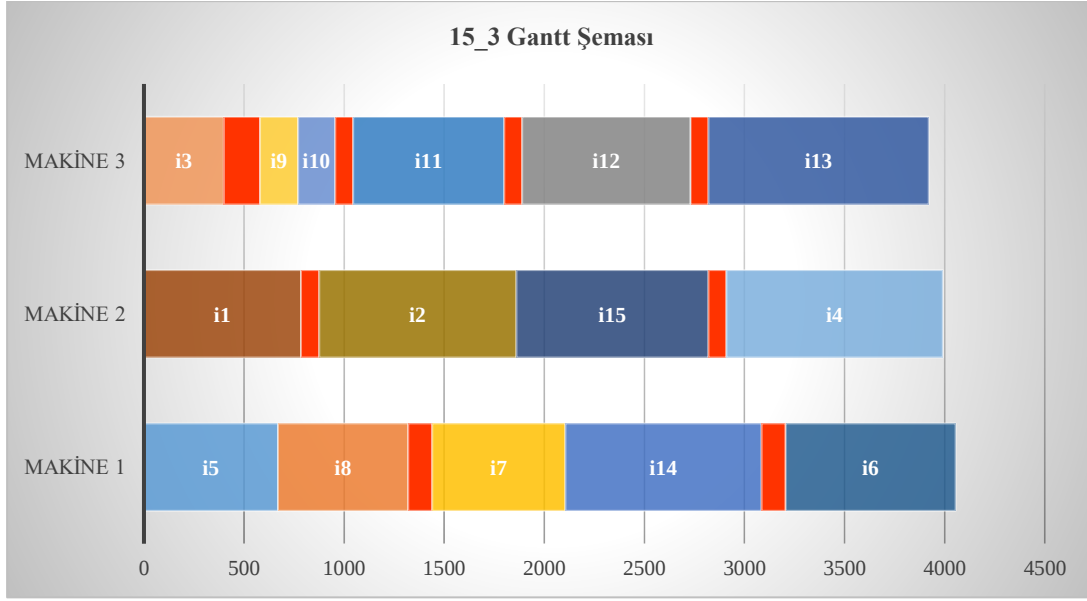
İş İndisi	Renk İndisi	İşlem Süresi(dk)	Teslim Süresi(dk)
i	b(i)	p(i)	d(i)
1	1	785	1708
2	2	985	1885
3	3	400	1315
4	1	1080	2285
5	4	670	1593
6	5	850	1829
7	6	665	1620
8	4	650	1520
9	7	190	1040
10	7	185	1080
11	9	755	1750

12	8	840	1915
13	9	1100	2148
14	6	980	2400
15	2	960	1935

Tüm işlerin farklı makine sayılarıyla çözüme kavuşturulduğu sıralamaya ve Gantt şemalarına ilerleyen satırlarda yer verilmiştir.

Çizelge 6.13 Deney tasarım grubu-2 iş sıralaması

İş_Makine	Makine	Sıralama
15_3	M1	5-8-7-14-6
	M2	1-2-15-4
	M3	3-9-10-11-12-13
15_4	M1	5-8-7-14
	M2	12-11-13
	M3	6-1-4
	M4	9-10-3-2-15
15_5	M1	5-8-6
	M2	2-12
	M3	1-7-14
	M4	9-10-11-13
	M5	3-15-4
15_6	M1	8-3-14
	M2	10-11-13
	M3	7-9-4
	M4	5-15
	M5	1-2
	M6	6-12
15_7	M1	9-11
	M2	6-12
	M3	13-14
	M4	5-15
	M5	7-10-4
	M6	8-2
	M7	1-3



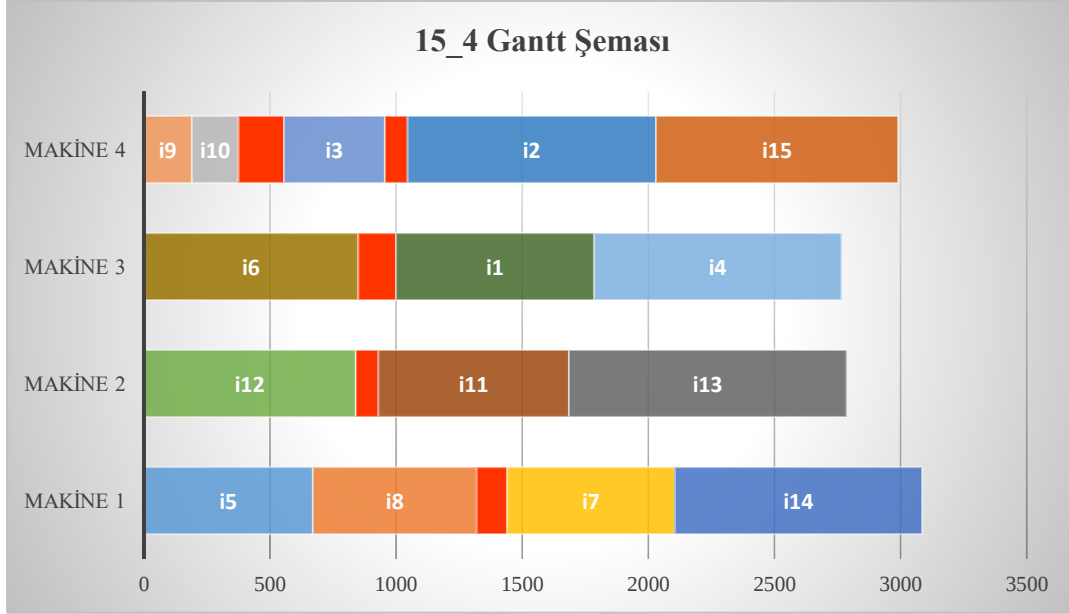
Şekil 6.6 15_3 Gantt şeması gösterimi

15 işin ve 3 makinenin baz alındığı problemin GAMS /Cplex çözümüne göre elde edilen sıralamada; birinci makineye sırasıyla 5-8-7-14-6 konumundaki işler, ikinci makineye 1-2-15 ve 4, üçüncü makineye 3-9-10-11-12-13 işleri atanmıştır. Sekizinci işten yedinci işe, on dördüncü işten altıncı işe, birinci işten ikinci işe, on beşinci işten dördüncü işe, üçüncü işten dokuzuncu işe, onuncu işten on birinci işe, on birinci işten on ikinci işe ve on ikinci işten on üçüncü işe olmak üzere tüm makinelerde hazırlık sürelerine rastlanmaktadır.

Çizelge 6.14 15_3 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (15_3)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	785
2	1860
3	400
4	3990
5	670
6	4055
7	2105
8	1320
9	590
10	775
11	1620
12	2550
13	3740
14	3085
15	2820

Yukarıdaki tabloda 15 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=3$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.



Şekil 6.7 15_4 Gantt şeması gösterimi

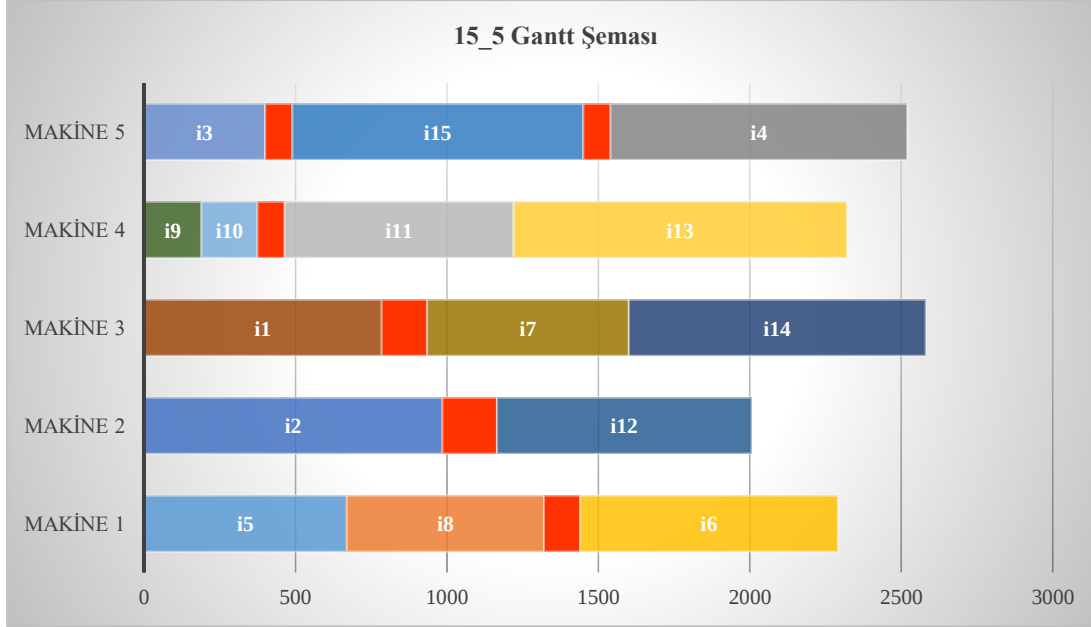
15 iş 4 makineli bir ortam için çözülen problemde işlerin sıralama sonucu; birinci makinede sırasıyla 5-8-7-14, ikinci makinede 12-11-13, üçüncü makinede 6-1-4, dördüncü makinede ise 9-10-3-2-15 şeklindedir. Yukarıdaki Gantt şemasında da görüldüğü üzere 8-7,12-11,6-1,10-3,3-2 konumlu işler arasında bir sonraki işin boyamasının yapılabilmesi için belirlenen sürelerde hazırlık süreleri gerekmektedir.

Çizelge 6.15 15_4 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (15_4)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	1785
2	2030
3	955
4	2865
5	670
6	850
7	2105
8	1320
9	190
10	375
11	1685
12	840
13	2785

14	3085
15	2990

Yukarıdaki tabloda ise 15 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=4$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir



Şekil 6.8 15_5 Gantt şeması gösterimi

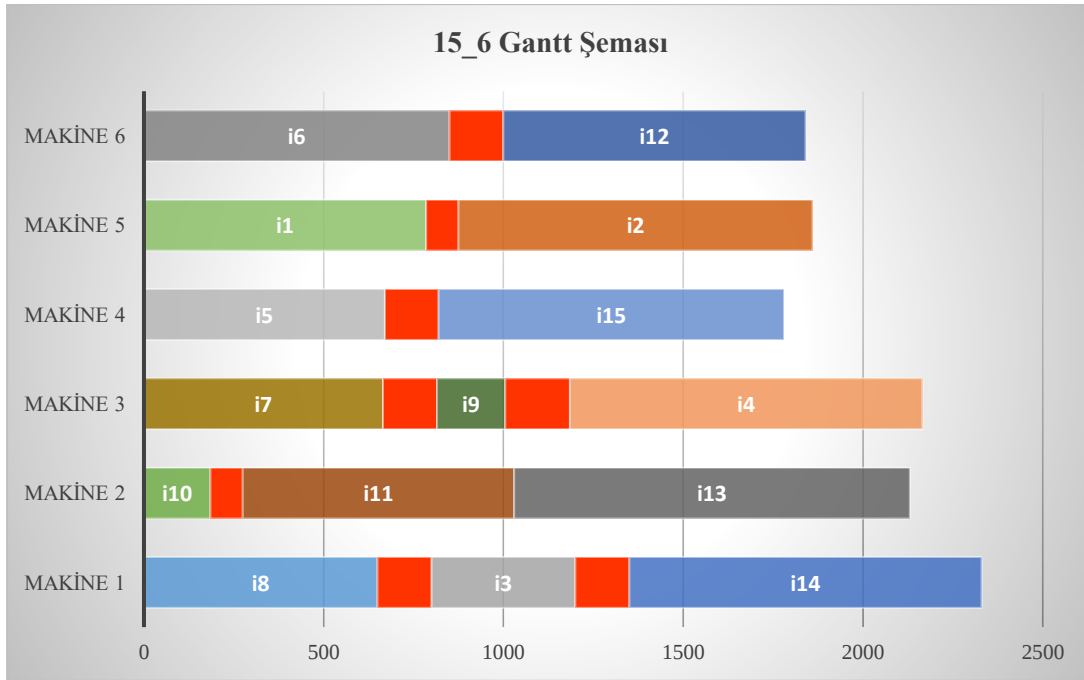
15 iş 5 makine boyutlu problemin GAMS sıralama sonucuna göre; birinci makineye sırasıyla 5-8-6, ikinci makineye 2-12, üçüncü makineye 1-7-14, dördüncü makineye 9-10-11-13 ve beşinci makineye 3-15-4 numaralı işler yerleştirilmiştir. 8-6, 2-12, 1-7, 10-11, 3-15 ve 15-4 numaralı işler arasında hazırlık süreleri görülmektedir.

Çizelge 6.16 15_5 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (15_5)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	785
2	985
3	400
4	2620
5	670
6	2290
7	1600
8	1320
9	190
10	375

11	1220
12	2005
13	2320
14	2580
15	1450

Yukarıdaki tabloda ise 15 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=5$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.



Şekil 6.9 15_6 Gantt şeması gösterimi

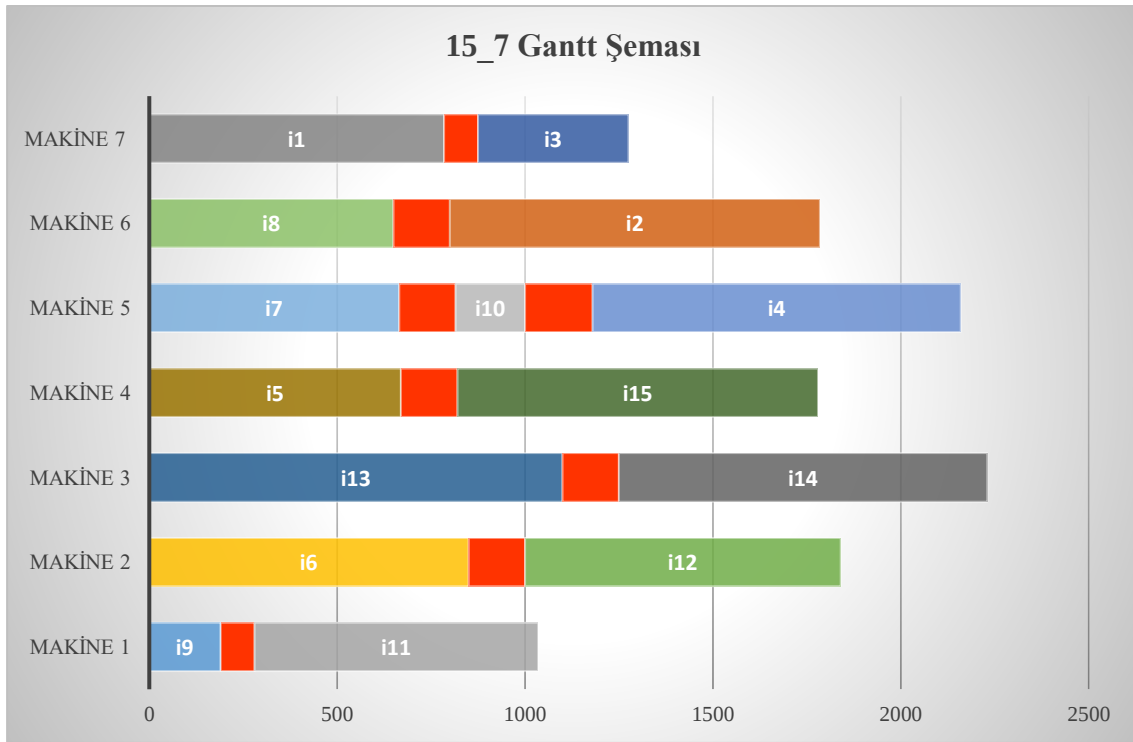
15 iş 6 makine ile oluşturulan deney tasarımının GAMS sonuçlarına göre; birinci makineye sırasıyla 8-3-14 konumlu işler, ikinci makineye 10-11-13, üçüncü makineye 7-9-4, dördüncü makineye 5-15, beşinci makineye 1-2 ve altıncı makineye 6-12 numaralı işler sıralanmıştır. Hazırlık süreleri ise 8-3,3-14,10-11,7-9,9-4,5-15,1-2 ve 6-12 konumlu işler arasında olup tüm makinelerde görülmektedir.

Çizelge 6.17 15_6 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (15_6)	İşlerin Tamamlanma Zamanı
1	785
2	1860
3	1200
4	2265
5	670
6	850

7	665
8	650
9	1005
10	185
11	1030
12	1840
13	2130
14	2330
15	1780

Yukarıdaki tabloda ise 15 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=6$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.



Şekil 6.10 15_7 Gantt şeması gösterimi

15 iş 7 makine ortamı için türetilen problem sonuçlarına göre makinelere atanan işlerin sıralaması sırasıyla; birinci makine için 9-11, ikinci makine için 6-12, üçüncü makine için 13-14, dördüncü makine için 5-15, beşinci makine için 7-10-4, altıncı makine için 8-2, yedinci makine için 1-3 şeklindedir. Atandıkları makinelerde operasyonları tamamlanan her işin bir sonraki işe başlamadan önce hazırlık süresine gerek duyulduğu görülmektedir.

Çizelge 6.18 15_7 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (15_7)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	785
2	1785
3	1275
4	2260
5	670
6	850
7	665
8	650
9	190
10	1000
11	1035
12	1840
13	1100
14	2230
15	1780

Yukarıdaki tabloda ise 15 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=7$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.

Çizelge 6.19 Deney tasarım grubu-2'nin çözüm sonuçları

İş Sayısı-Makine Sayısı	Amaç Fonksiyonu	Gams Çözüm Durumu Göstergesi	Çözüm Süresi(sn.)
15_3	8613	Tam Sayılı Çözüm	3600.08
15_4	3664	Tam Sayılı Çözüm	3600.16
15_5	1238	Tam Sayılı Çözüm	3600.24
15_6	0	Optimal Çözüm	1762.51
15_7	0	Optimal Çözüm	97,44

İş sayısının 15 olduğu farklı boyutlardaki makinelerin yer aldığı problemin GAMS çözümlerinde ortaya çıkan sonuç; $t=3, t=4$ ve $t=5$ adet makine ortamında optimal olmasa da GAMS optimizasyonunun çalıştırılma süresi boyunca amaç fonksiyonu için elde edilen sonuçlar sırası ile 8613 dakika, 3664 dakika ve 1238 dakikadır.

$t=6$ ve $t=7$ adet makine sistemi için optimal sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Amaç fonksiyonu, $t=6$ ve $t=7$ adet makinede ortamında en küçüklenmiş ve her ikisi için de 0 değeri bulunmuştur. Bu iki optimal sonuç arasında çözüm süreleri konusunda kıyas yapıldığında ise 97,44 saniye ile 15 iş 7 makine sisteminin tercihi, en iyi ve en hızlı çözüm sonucunu da beraberinde getirmektedir.

6.1.3 Deney tasarım grubu-3

20 iş için hazırlanan problem, farklı boyutlardaki makine ortamlarında gerçekleştirilmiş ve dakika cinsinden yansıtılan bu probleme ait verilere Çizelge 6.20'den ulaşılmaktadır.

Çizelge 6.20 Deneysel tasarım grubu-3 verileri

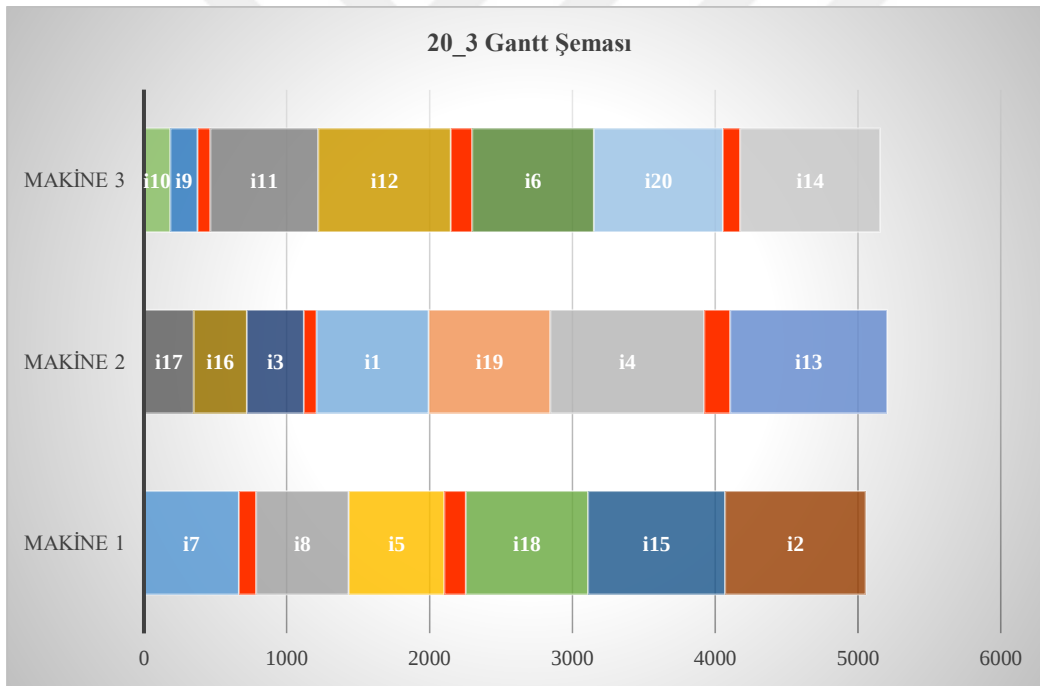
İş İndisi	Renk İndisi	İşlem Süresi(dk)	Teslim Süresi(dk)
i	b(i)	p(i)	d(i)
1	1	785	1708
2	2	985	1885
3	3	400	1315
4	1	1080	2285
5	4	670	1593
6	5	850	1829
7	6	665	1620
8	4	650	1520
9	7	190	1040
10	7	185	1080
11	9	755	1750
12	8	840	1915
13	9	1100	2148
14	6	980	2400
15	2	960	1935
16	3	370	1365
17	3	350	1310
18	2	855	1834
19	1	850	1967
20	5	905	1850

Tüm işlerin farklı makine sayılarıyla çözüme kavuşturulduğu sıralamaya ve Gantt şemalarına ilerleyen satırlarda yer verilmiştir.

Çizelge 6.21 Deney tasarım grubu-3 iş sıralaması

İş_Makine	Makine	Sıralama
20_3	M1	7-8-5-18-15-2
	M2	17-16-3-1-19-4-13
	M3	10-9-11-12-6-20
20_4	-	-
20_5	M1	8-5-6-20
	M2	9-10-7-12-14
	M3	18-2-15

	M4	17-1-19-4
	M5	16-3-11-13
20_6	M1	5-8-14
	M2	18-2-15
	M3	13-11-19
	M4	16-17-6-20
	M5	10-9-7-12
	M6	3-1-4
20_7	M1	2-19
	M2	9-10-12-15
	M3	6-20
	M4	8-5-14
	M5	17-16-3-4
	M6	7-11-13
	M7	18-1



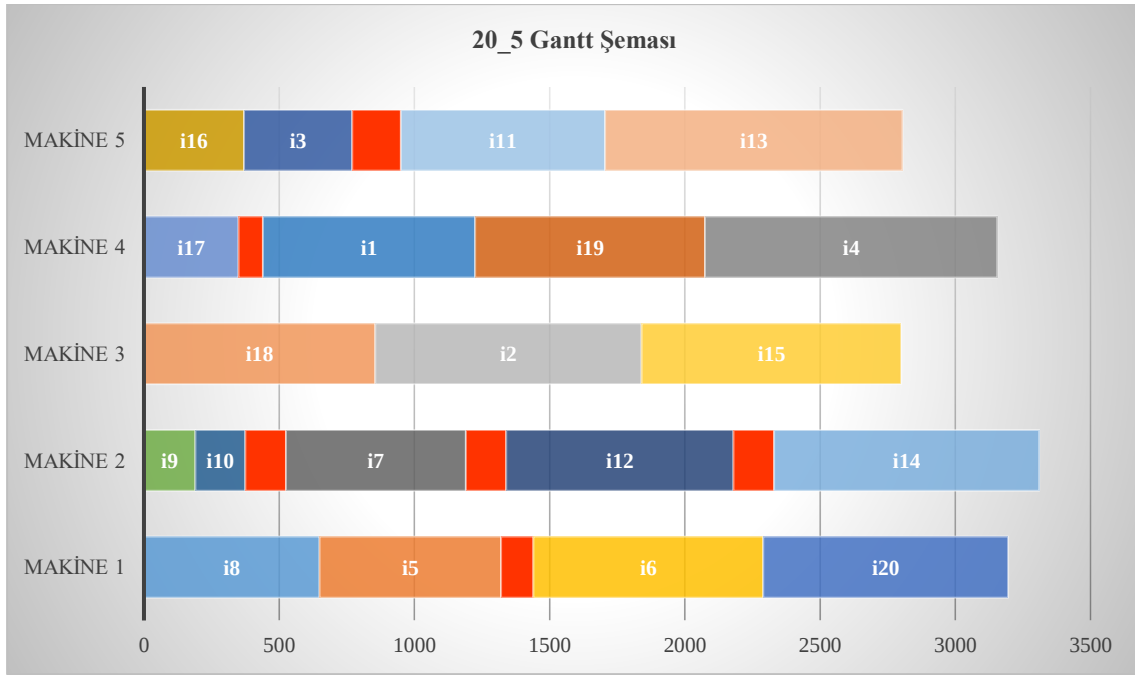
Şekil 6.11 20_3 Gantt şeması gösterimi

20 iş 3 makine ile oluşturulan deney tasarımının GAMS sonuçlarına göre; birinci makineye sırasıyla 7-8-5-18-15-2 numaralı işler, ikinci makineye 17-16-3-1-19-4-13 numaralı işler ve üçüncü makineye 10-9-11-12-6-20-14 numaralı işler sıralanmıştır. Birinci makineye atanan 7-8 ve 5-18 konumlu işler, ikinci makineye atanan 3-1 ve 4-13 konumlu işler, üçüncü makineye atanan 9-11, 12-6 ve 20-14 konumlu işler arasında hazırlık süreleri görülmektedir.

Çizelge 6.22 20_3 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (20_3)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	1995
2	5055
3	1120
4	2845
5	2105
6	3150
7	665
8	1435
9	375
10	185
11	1120
12	2150
13	3925
14	5155
15	4070
16	720
17	350
18	3110
19	2845
20	4055

Yukarıdaki tabloda ise 20 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=3$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir. 20 iş 4 makine sistemi için herhangi bir çözüme ulaşamamıştır.



Şekil 6.12 20_5 Gantt şeması gösterimi

20 iş 5 makine ortamı için tasarlanan sıra bağımlı hazırlık süreli problemin Gantt şeması yukarıdaki gibidir. GAMS çözüm sonuçlarına göre; birinci makineye sırasıyla 8-5-6-20 numaralı işler, ikinci makineye 9-10-7-12-14 numaralı işler, üçüncü makineye 18-2-15 numaralı işler, dördüncü makineye 17-1-19-4 numaralı işler ve beşinci makineye 16-3-11-13 numaralı işler atanmıştır.

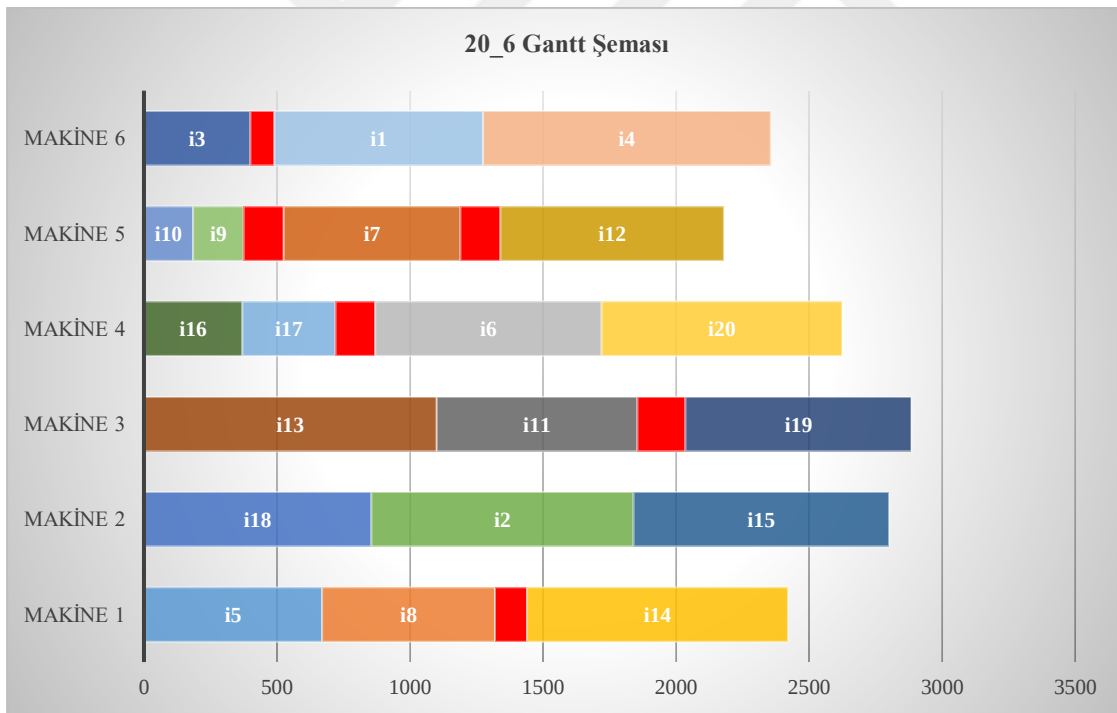
Birinci makinede boyanacak olan 5-6, ikinci makinede boyanacak olan 10-7, 7-12 ve 12-14, dördüncü makinede boyanacak olan 17-1 ve beşinci makinede boyanacak olan 3-11 konumlu işler arasında hazırlık süreleri söz konusudur.

Çizelge 6.23 20_5 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (20_5)	İşlerin Tamamlanma Zamanı (dk)
1	350
2	1840
3	770
4	1985
5	1320
6	2290
7	1190

8	650
9	190
10	375
11	1525
12	2180
13	2625
14	3310
15	2800
16	370
17	350
18	855
19	1135
20	3195

Yukarıdaki tabloda ise 20 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=5$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.



Şekil 6.13 20_6 Gantt şeması gösterimi

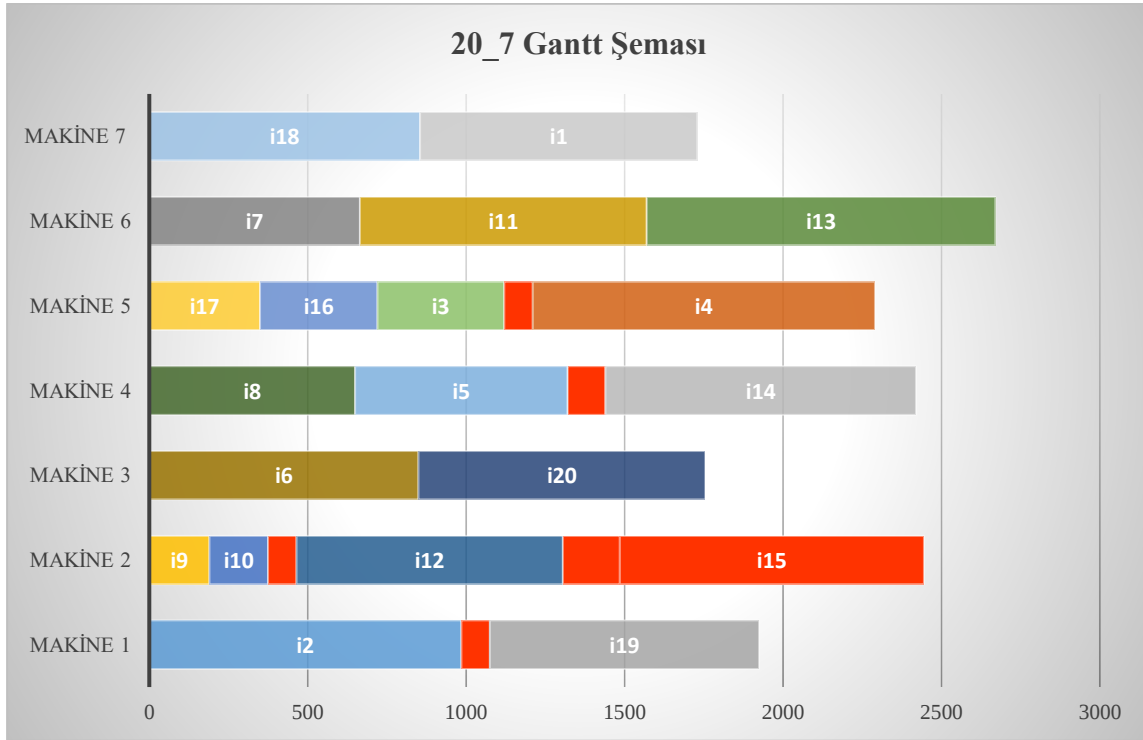
20 iş 6 makine ortamı için tasarlanan sıra bağımlı hazırlık süreli problemin Gantt şeması yukarıdaki gibidir. GAMS çözüm sonuçlarına göre; birinci makineye sırasıyla 5-8-14, ikinci makine 18-2-15, üçüncü makine 13-11-19, dördüncü makine 16-17-6-20, beşinci makine 10-9-7-12 ve altıncı makine 3-1-4 şeklindedir.

Makinelerde çizelgelenen 8-14, 11-19,17-6,9-7,7-12 ve 3-1 işleri arasında sıra bağımlı hazırlık sürelerine yer verildiği görülmektedir.

Çizelge 6.24 20_6 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (20_6)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	1275
2	1840
3	400
4	2355
5	670
6	1720
7	1190
8	1320
9	375
10	185
11	1855
12	2180
13	1100
14	2420
15	2800
16	370
17	720
18	855
19	2885
20	2625

Yukarıdaki tabloda ise 20 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=6$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.



Şekil 6.14 20_7 Gantt şeması gösterimi

20 iş 7 makine ortamı için türetilen sıra bağımlı hazırlık süreli problemin GAMS sonuçlarına göre oluşturulan Gantt şeması yukarıdaki gibidir. Bu sonuçlara göre; birinci makineye sırasıyla 2 ve 19, ikinci makineye sırasıyla 9-10-12-15, üçüncü makineye 6 ve 20, dördüncü makineye sırasıyla 8-5-14, beşinci makineye 17-16-3-4 ve altıncı makineye 7-11-13 numaralı işler atanmıştır. Ayrıca şemada 2 ile 19, 10 ile 12, 12 ile 15, 5 ile 14 ve 3 ile 4 konumundaki işler arasında; bir işten diğer işe geçiş esnasında gerekli olan hazırlık zamanları gösterilmiştir.

Çizelge 6.25 20_7 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (20_7)	İşlerin Tamamlanma Zamanı (dk)
1	1730
2	985
3	1120
4	2290
5	1320

6	940
7	665
8	650
9	190
10	375
11	1570
12	1305
13	2670
14	2420
15	2445
16	720
17	350
18	855
19	1925
20	1845

Yukarıdaki tabloda ise 20 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=7$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.

Çizelge 6.26 Deney tasarım grubu-3'ün çözüm sonuçları

İş Sayısı-Makine Sayısı	Amaç Fonksiyonu	Gams Çözüm Durumu	Çözüm Süresi(sn.)
20_3	19471.00	Tam Sayılı Çözüm	3600.28
20_4	-	Çözüm Vermedi	5400.2
20_5	6241	Tam Sayılı Çözüm	5400.29
20_6	3018	Tam Sayılı Çözüm	5400.48
20_7	1079	Tam Sayılı Çözüm	5400.52

İş sayısının 20 olduğu farklı sayıda makinelerin yer aldığı problemin GAMS çözümlerinde ortaya çıkan sonuca bakıldığında; $t=4$ adet makine ortamında herhangi bir çözüm bulunamamıştır. $t=3, t=5, t=6$ ve $t=7$ adet makine için optimal olmasa çözücünün çalıştırılma süresi boyunca amaç fonksiyon değeri için elde edilen sonuçlar sırası ile 19471 dakika, 6241 dakika, 3018 dakika ve 1079 dakikadır. Çözüm süreleri her üç makinede de birbirine yakın olmakla beraber, amaç fonksiyonu konusunda kayda değer farklılıklar ortaya çıkmaktadır. 20 iş 7 makine tercihi, toplam gecikme değerinin diğer makine ortamlarına göre minimize edildiği değer olup 1079 dakikadır.

6.1.4 Deney tasarım grubu-4

25 iş için geliştirilen algoritma, farklı sayılardaki makine ortamlarında gerçekleştirilmiş ve dakika cinsinden yansıtılan bu probleme ait verilere Çizelge 6.27'den ulaşılmaktadır.

Çizelge 6.27 Deneyisel tasarım grubu-4 verileri

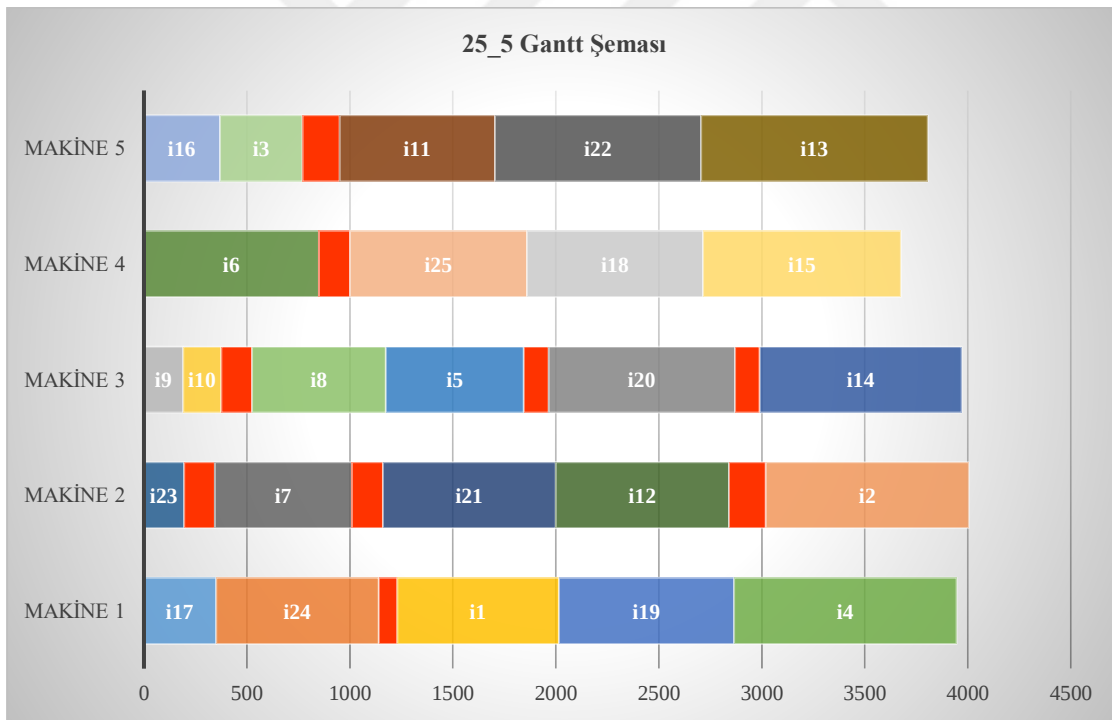
İş İndisi	Renk İndisi	İşlem Süresi(dk)	Teslim Süresi(dk)
i	b(i)	p(i)	d(i)
1	1	785	1708
2	2	985	1885
3	3	400	1315
4	1	1080	2285
5	4	670	1593
6	5	850	1829
7	6	665	1620
8	4	650	1520
9	7	190	1040
10	7	185	1080
11	9	755	1750
12	8	840	1915
13	9	1100	2148
14	6	980	2400
15	2	960	1935
16	3	370	1365
17	3	350	1310
18	2	855	1834
19	1	850	1967
20	5	905	1850
21	8	840	1759
22	9	1000	2313
23	7	195	1110
24	3	790	1755
25	2	860	1927

İşlerin farklı sayıdaki makine ortamları için tasarlanıp sıralandığı çizelgelemeye ve Gantt şemalarına aşağıda yer verilmiştir.

Çizelge 6.28 Deney tasarım grubu-4 iş sıralaması

İş_Makine	Makine	Sıralama
25_3	-	-
25_4	-	-
25_5	M1	17-24-1-19-4
	M2	23-7-21-12-2
	M3	9-10-8-5-20-14
	M4	6-25-18-15
	M5	16-3-11-22-13
25_6	M1	9-8-6-20-14
	M2	17-21-12-13
	M3	3-16-24-2-15
	M4	7-19-4
	M5	23-1-18-25
	M6	5-10-11-22
25_7	-	-

25 iş t=3,t=4 ve t=7 adet makine sisteminin GAMS ile çözümü bulunamamıştır.



Şekil 6.15 25_5 Gantt şeması gösterimi

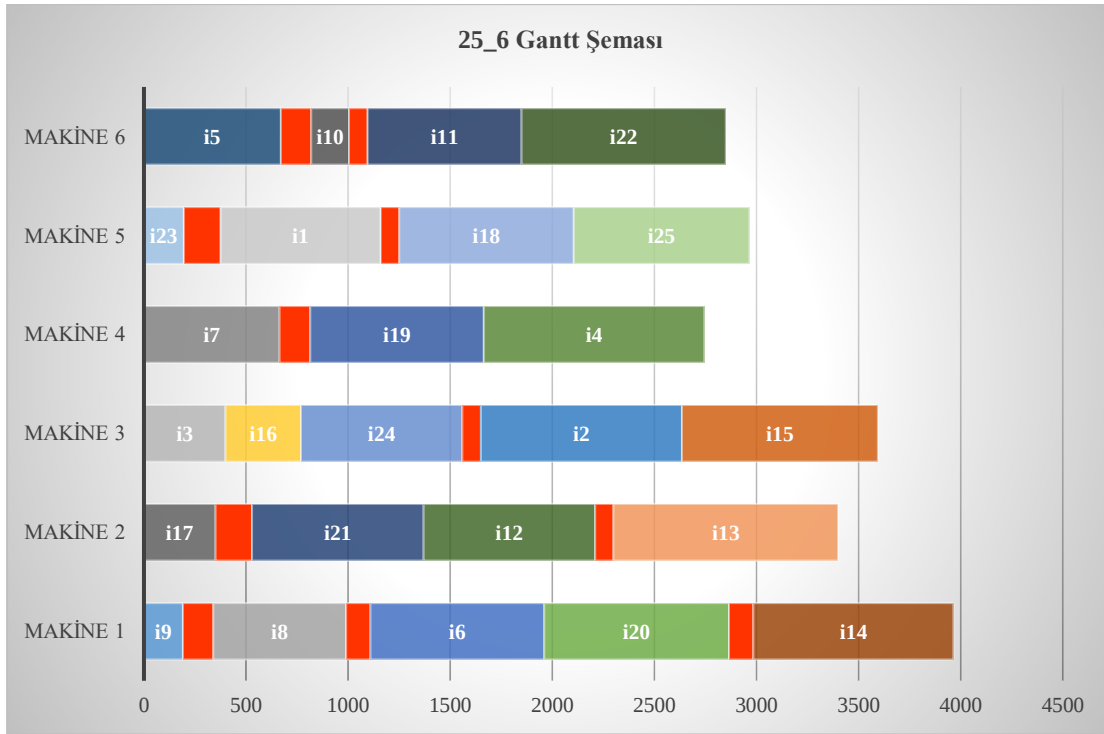
25 iş t=5 makine ortamı için türetilen örnek problemde işlerin makinelerde sıralaması şu şekildedir; birinci makinede sırasıyla 17-24-1-19-4, ikinci makinede 23-7-21-12-2, üçüncü makinede 9-10-8-5-20-14, dördüncü makinede 6-25-18-15, beşinci makinede 16-3-11-22-13 şeklindedir.

Birinci makinede 24-1, ikinci makinede 23-7 ve 12-2, üçüncü makinede 10-8 ve 5-20, 20-14, dördüncü makinede 6-25, beşinci makinede 3-11 işleri arasında bir boyama işleminden diğer boyama işlemine geçmeden önce belirli sürelerle hazırlık zamanı gerekmektedir.

Yukarıdaki tabloda ise 25 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=5$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.

Çizelge 6.29 25_5 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (25_5)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	2015
2	3705
3	770
4	2865
5	1695
6	850
7	860
8	1025
9	190
10	375
11	1525
12	2540
13	3625
14	3820
15	3675
16	370
17	350
18	2715
19	3945
20	2720
21	1700
22	2525
23	195
24	1140
25	1860



Şekil 6.16 25_6 Gantt şeması gösterimi

25 iş 6 makinenin söz konusu olduğu örnek problemin GAMS çözüm sonuçlarına göre işlerin makinede sıralamaları; birinci makinede sırasıyla 9-8-6-20-14, ikinci makinede 17-21-12-13, üçüncü makinede 3-16-24-2-15, dördüncü makinede 7-19-4, beşinci makinede 23-1-18-25, altıncı makinede 5-10-11-22 olacak şeklindedir.

Sıra bağımlı hazırlık süreleri birinci makinede 9'dan 8'e, 8'den 6'ya ve 20'den 14'e, ikinci makinede 17'den 21'e ve 12'den 13'e, üçüncü makinede yalnızca 24'ten 2'ye, dördüncü makinede 7'den 19'a, beşinci makinede 23'ten 1'e ve 1'den 18'e altıncı makinede ise 5'ten 10, 10'dan 11'e geçileceği esnada eklenmiştir.

Çizelge 6.30 25_6 İşlerin tamamlanma zamanı

İş_Makine (25_6)	İşlerin Tamamlanma Zamanı(dk)
1	980
2	2635
3	400
4	2595
5	670
6	1810
7	665

8	840
9	190
10	1005
11	1850
12	2030
13	3220
14	3815
15	3595
16	770
17	350
18	1925
19	1515
20	2715
21	1190
22	2850
23	195
24	1560
25	2785

Yukarıdaki tabloda ise 25 işin atandığı konum-makine kombinasyonunda, $t=6$ iken m. konumdaki işin boyamasının tamamlanma zamanı (c_{tm}) verilmiştir.

Çizelge 6.31 Deney tasarım grubu-4'ün çözüm sonuçları

İş Sayısı-Makine Sayısı	Amaç Fonksiyonu	Gams Çözüm Durumu	Çözüm Süresi(sn.)
25_3	-	Çözüm Vermedi	10800.16
25_4	-	Çözüm Vermedi	10800.56
25_5	14212	Tam Sayılı Çözüm	3600.84
25_6	9173	Tam Sayılı Çözüm	10800.70
25_7	-	Çözüm Vermedi	10800.99

25 iş 7 makinenin baz alındığı problemin GAMS/Cplex çözüm sonucuna göre $t=3, t=4$ ve $t=7$ makine ortamı herhangi bir çözüm vermemiştir. $t=5$ ve $t=6$ makine ortamları ise optimal olmasa dahi belirlenen süre içerisinde bir sonuç ortaya çıkarabilmiştir. $t=6$ makine ile işlerin toplam gecikme zamanları yani amaç fonksiyonu değeri, 10800.70 saniye sonucunda 9173 dakikadır. Makine sayısının $t=5$ olduğu durumdaki çözüm süresi, $t=6$ olduğu durumdaki çözüm süresine kıyasla çok daha kısa bir sürede sonuç vermesine rağmen, amaç fonksiyonu değeri $t=6$ olduğu durumda $t=5$ olduğu duruma göre daha iyi bir çözüm sonucu sunmaktadır.

6.1.5 Deney tasarımı grubu-5

30 iş için geliştirilen algoritma, farklı sayılardaki makine ortamlarında gerçekleştirilmiş ve dakika cinsinden yansıtılan bu probleme ait verilere Çizelge 6.32'den ulaşılmaktadır.

Çizelge 6.32 Deneysel tasarım grubu-5 verileri

İş İndisi	Renk İndisi	İşlem Süresi(dk)	Teslim Süresi(dk)
i	b(i)	p(i)	d(i)
1	1	785	1708
2	2	985	1885
3	3	400	1315
4	1	1080	2285
5	4	670	1593
6	5	850	1829
7	6	665	1620
8	4	650	1520
9	7	190	1040
10	7	185	1080
11	9	755	1750
12	8	840	1915
13	9	1100	2148
14	6	980	2400
15	2	960	1935
16	3	370	1365
17	3	350	1310
18	2	855	1834
19	1	850	1967
20	5	905	1850
21	8	840	1759
22	9	1000	2313
23	7	195	1110
24	3	790	1755
25	2	860	1927
26	5	870	1783
27	1	840	1929
28	6	710	1780
29	4	880	1770
30	8	860	1830

Çizelge 6.33 Deney tasarım grubu-5'in çözüm sonuçları

İş Sayısı_Makine Sayısı	Amaç Fonksiyonu	Gams Çözüm Durumu	Çözüm Süresi(sn)
30_3	-	Çözüm Vermedi	10800.54
30_4	-	Çözüm Vermedi	10800.54
30_5	-	Çözüm Vermedi	10800.85
30_6	-	Çözüm Vermedi	10800.59
30_7	-	Çözüm Vermedi	9707.76

Deney tasarım grubu-5'te söz konusu olacak 30 iş farklı sayılardaki makine sistemi, 10800 saniyeyi aşan süre zarfında çalıştırılmış olup herhangi bir makine ortamı için çözüme erişilememiştir.

Çizelge 6.34 Deney tasarım grupları arasında optimal sonuç karşılaştırması

İş Sayısı-Makine Sayısı	Amaç Fonksiyonu	Gams Çözüm Durumu	Çözüm Süresi(sn.)
10_3	971	Optimal Çözüm	103,57
10_4	0	Optimal Çözüm	99,2
10_5	0	Optimal Çözüm	0,78
10_6	0	Optimal Çözüm	0,87
10_7	0	Optimal Çözüm	0,59
15_6	0	Optimal Çözüm	1762.51
15_7	0	Optimal Çözüm	97,44

Tez çalışması için geliştirilen matematiksel modelin başarısını test edebilmek amacıyla farklı boyutlarda problemler oluşturulmuştur. Farklı boyutlardaki bu problemler içerisinde 10_3,10_4,10_5,10_6,10_7,15_6 ve 15_7 problem boyutlu örnekler optimal sonuçlar vermiştir. Bu problemler amaç fonksiyonu ve çözüm süresi bazlı kendi aralarında kıyaslanmıştır.

Kıyaslamalar sonucunda 10_3 boyutlu problem 103,57 saniyede çözülmüştür ve amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 971 dakika olarak bulunmuştur. 10_4 boyutlu problem 99,2 saniyede çözülmüştür ve amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 0 olarak bulunmuştur. 10_5 boyutlu problem 0,78 saniyede çözülmüştür ve amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 0 olarak bulunmuştur. 10_6 boyutlu problem 0,87 saniyede çözülmüştür ve amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 0 olarak bulunmuştur. 10_7 boyutlu problem 0,59 saniyede çözülmüştür ve amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 0 olarak bulunmuştur. 10 işin çizelgelendiği çalışmalar arasında çözüm süresinin ve amaç fonksiyon değerinin minimizasyonu dikkate alındığında ikisini de aynı anda sağlayan en iyi çözümü 10_7 boyutlu problem vermektedir.

Diğer optimal çözümlerden olan 15_6 ve 15_7 boyutlu problemler kıyaslandığında ise 15_6 boyutlu problem, 1762,51 çözüm süresi sonucunda amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 0 olup optimal düzeye ulaşmıştır. 15_7 boyutlu problem 97,44 saniyede çözülmüştür ve amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 0 olarak bulunmuştur. Bu sebeple 97,44 saniye ile aynı amaç fonksiyonu veren 15_7 boyutlu problem tercih edilebilir.

10_7 ve 15_7 boyutlu problemler kıyaslandığında her ikisi de aynı amaç fonksiyonu sonucunu vermektedir. Fakat 10_7 boyutlu problem, 15_7 boyutlu probleme göre 0,59 saniye gibi çok daha kısa bir sürede sonuç vermektedir.

Gerçek hayatta daha büyük boyutlu problemlerin varlığı düşünüldüğünde ve bu problemlerin çözümlerine olabildiğince hızlı şekilde ulaşmak istendiği varsayıldığında öncelik kurallarına ya da sezgisel yöntemlere başvurulabilir. Bu yöntemler matematiksel model çözümlerinde olduğu gibi optimum sonuç vermeyecektir ancak daha kısa sürede sonuç vereceğinden dolayı büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılması için tercih edilebilir. (Ceylan ve diğ.,2019). Bu çalışmada kullanılan algoritma büyük boyutlu problemlere makul süreler dahilinde çözüm olmadığı için öncelik kurallarına başvurulmuştur. Öncelik kurallarının çözümü için ise LEKİN yazılımı kullanılmıştır.

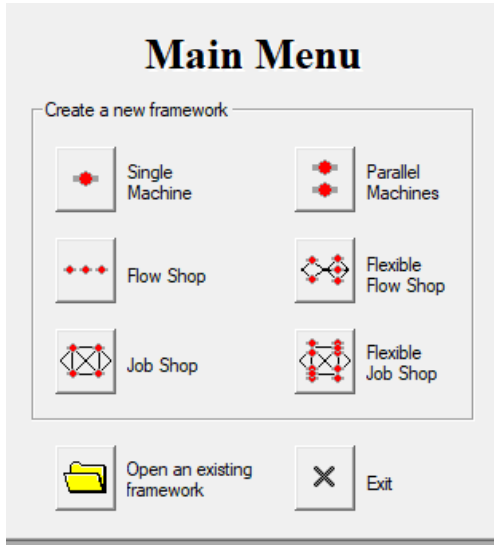
6.2.Lekin Programı

LEKİN yazılımı, New York Stern School of Business tarafından geliştirilmiş bir zamanlama sistemidir. Sistemin temelini oluşturan parçaların tasarımından sonra yazılım, Columbia Üniversitesi öğrencileri tarafından gerçekleştirilmiştir. Program, temelde çizelgeleme teorisi ve yazılımı hakkında bilgilendirme yapmak amacıyla bir eğitim aracı olarak oluşturulmuştur.

6.2.1 Lekin'in Özellikleri

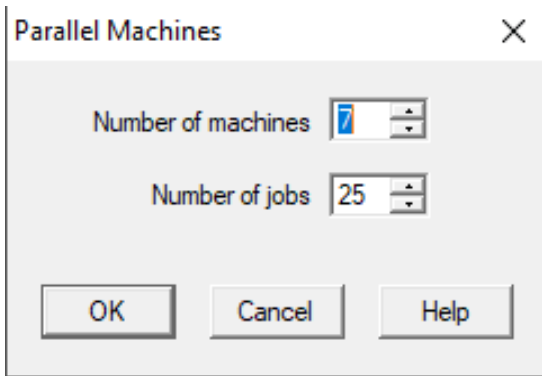
- Tek makine, paralel makine, akış tipi, esnek akış tipi, atölye tipi üretim, esnek atölye tipi üretim olmak üzere altı temel çalışma ortamına sahiptir.
- İşlerin sıralanması ve kıyaslanmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra algoritma genişletmeye ve kullanmaya olanak sağlamaktadır.
- Bir dizi örnek probleme ulaşılabilir.

- Farklı kaynaklardan alınmış 60'tan fazla kıyaslama örneği mevcuttur.
- Farklı öncelik kurallarına göre fizibil sonuçlar ortaya koyacak sıralamalar elde etmek mümkündür.
- İstenilen sezgisel yönteme göre Gantt şemalarına ulaşılabilir.
- Karşılaştırma analizleri için çeşitli grafik araçları ve çıktıları sunmaktadır. (<https://lekin.software.informer.com/3.3/> ,2021)



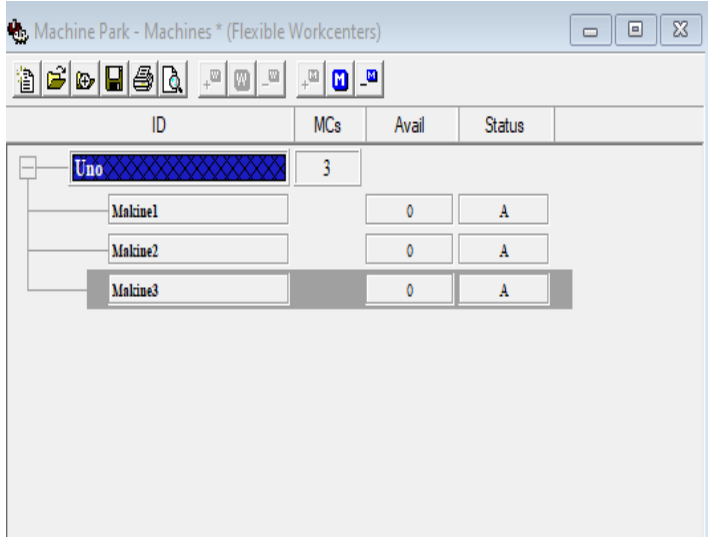
Program açıldığında karşımıza çıkan ilk pencere temel çalışma ortamının seçimi üzerinedir.

Şekil 6.17.Lekin çalışma ortamı menü görüntüsü



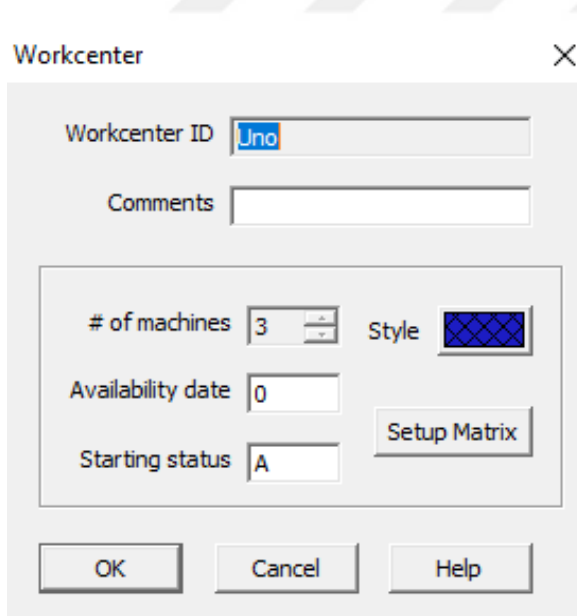
Sağ tarafta yer alan pencereden iş merkezi sayısı ve iş sayısı girilmektedir.

Şekil 6.18.Lekin çalışma ortamı bilgi giriş görüntüsü

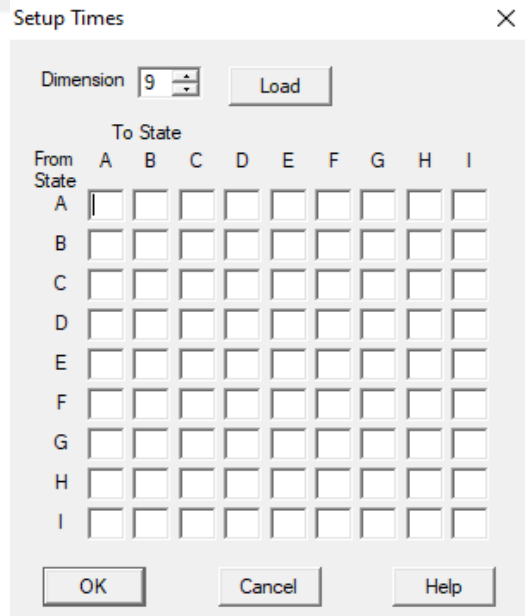


Şekil 6.19. Lakin çalışma ortamı düzenleme görüntüsü

İş merkezi sayısının girilmesinin ardından makine isimlerinin yer aldığı kutucuklara tıklanarak makineler üzerinde çeşitli düzenlemeler, eklemeler yapılabilmekte ve durum geçişleri tanımlanabilmektedir.

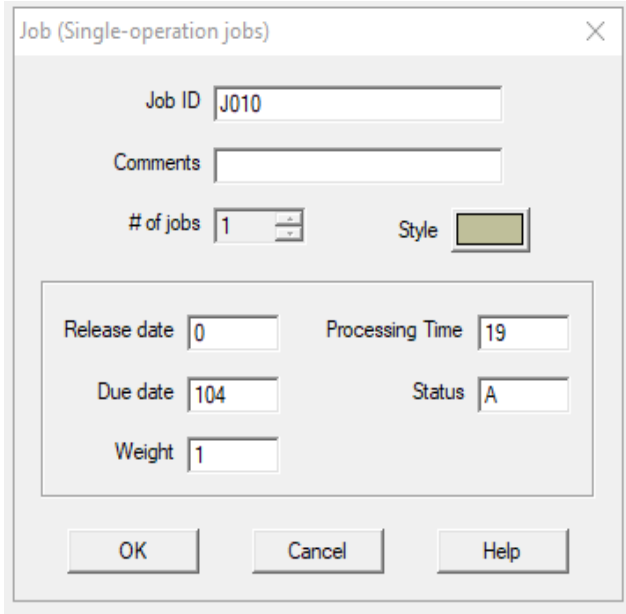


Şekil 6.20 Lakin hazırlık süresi matris görüntüsü



Şekil 6.21 Lakin hazırlık süresi giriş görüntüsü

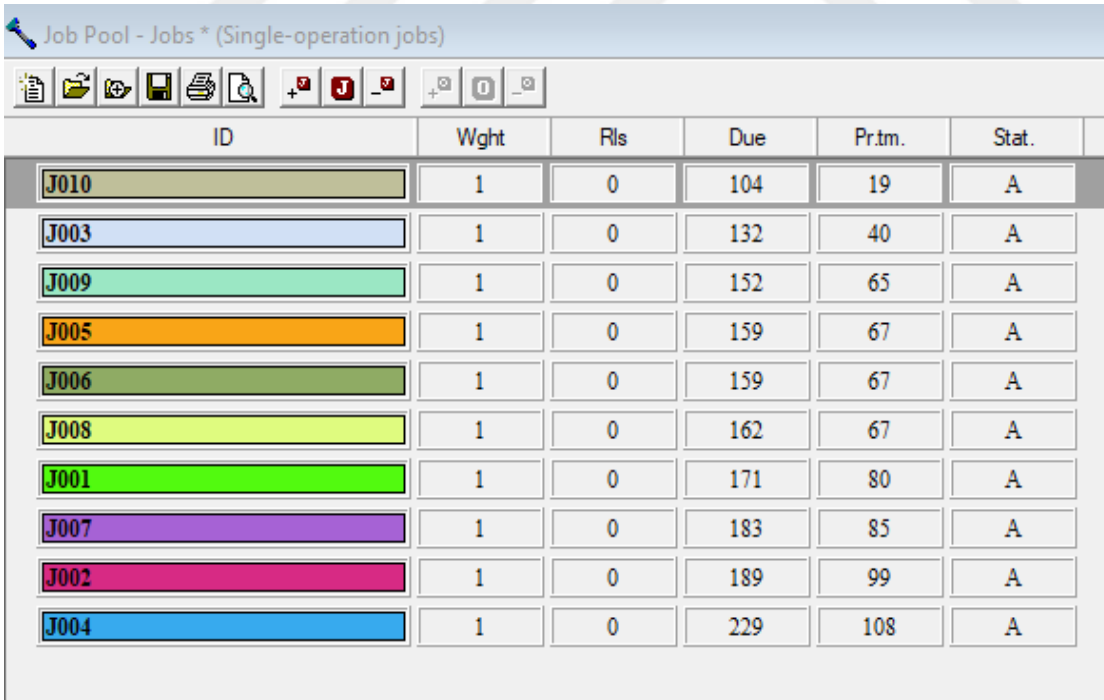
Üzerinde çalışılan problemde hazırlık süresi varsa bu süreler “Setup Matrix” butonu aracılığıyla “Setup Times” açılır penceresindeki kutucuklara girilerek kaydedilir.



Job (Single-operation jobs) dialog box showing fields for Job ID, Comments, # of jobs, Style, Release date, Processing Time, Due date, Status, and Weight. The Job ID is J010, # of jobs is 1, Release date is 0, Processing Time is 19, Due date is 104, Status is A, and Weight is 1. Buttons for OK, Cancel, and Help are at the bottom.

Şekil 6.22 Lekin iş giriş menüsü

İşlerin girişinin yapıldığı pencerede işlem süresi (processing time), teslim zamanı (due date), ağırlık (weight), durum (status) ve çıkış tarihi (release date) gibi bilgiler girilebilir.



Job Pool - Jobs * (Single-operation jobs) window showing a list of jobs with columns: ID, Wght, Rls, Due, Pr.tm., and Stat. The jobs are listed in a table with alternating colors for each row.

ID	Wght	Rls	Due	Pr.tm.	Stat.
J010	1	0	104	19	A
J003	1	0	132	40	A
J009	1	0	152	65	A
J005	1	0	159	67	A
J006	1	0	159	67	A
J008	1	0	162	67	A
J001	1	0	171	80	A
J007	1	0	183	85	A
J002	1	0	189	99	A
J004	1	0	229	108	A

Şekil 6.23 Lekin iş menüsü düzenleme görüntüsü

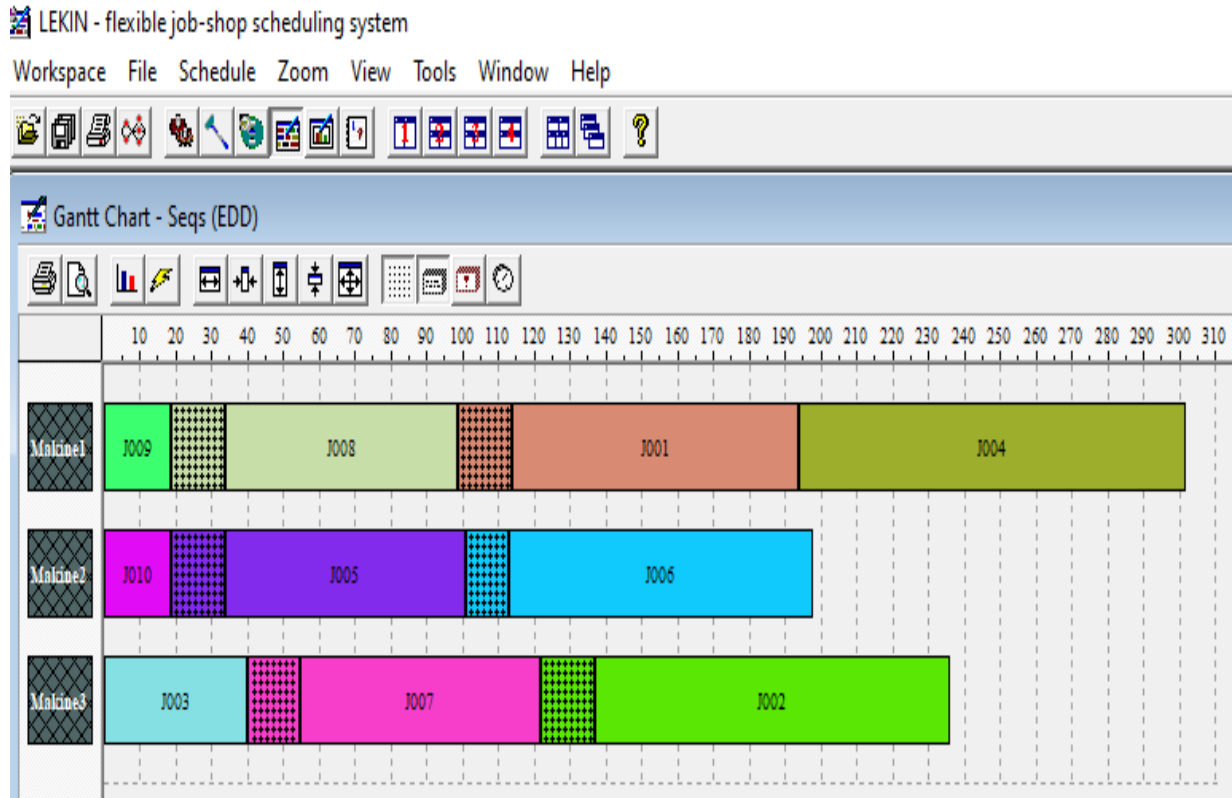
İş ekleme, iş çıkarma, iş düzenleme gibi kısımlar kolaylıkla yapılabilmektedir. Her bir iş için farklı renkler tercih edilmiştir ve program genel anlamda kullanıcı dostudur.

Yukarıda bahsedilen deney tasarım gruplarının her biri, LEKİN yazılımı ile EDD, SPT ve LPT öncelik kurallarına göre çözülerek Gantt şemalarından ve amaç fonksiyonu değerlerinden ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir.

LEKİN programında hazırlık süreleri en fazla 2 basamaklı olacak şekilde girilebildiği için problemdeki tüm veriler 1/10 oranında küçültülerek çözülmüştür.

6.2.2.Lekin yazılımı deney tasarım grubu-1

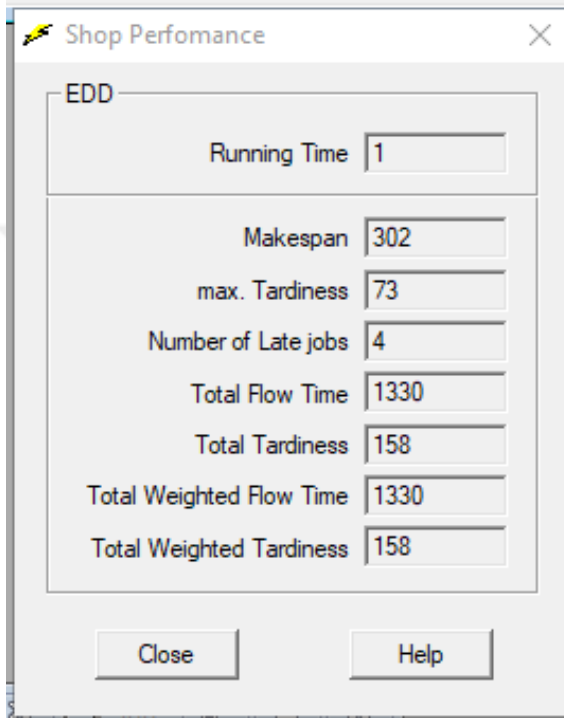
10 iş için farklı sayıdaki makine ortamında ($t=1, t=2, t=3, t=4, t=5, t=6$ ve $t=7$) geliştirilen tasarımların, EDD sonuçlarına ve Gantt şemasına yer verilmiştir.



Şekil 6.24 10_3 Gantt şeması gösterimi

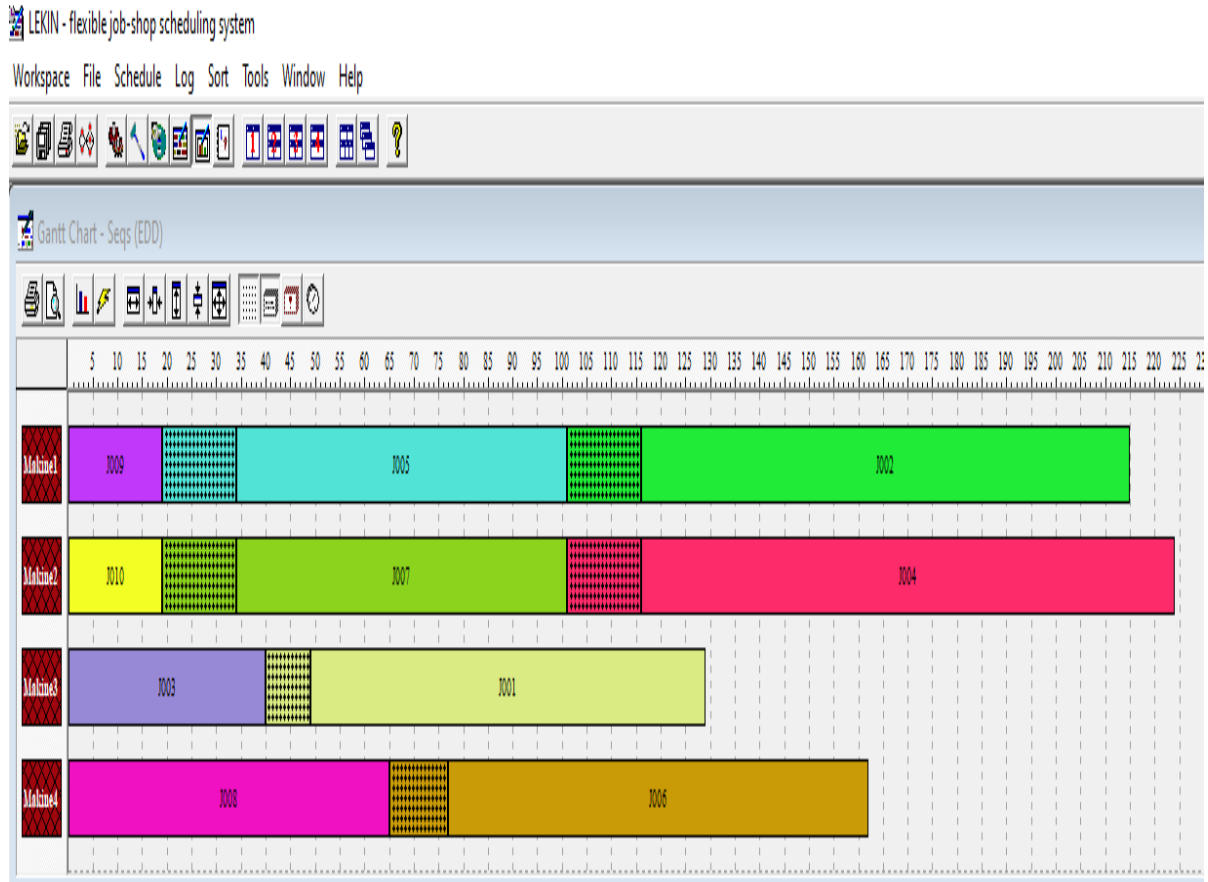
10 iş 3 makine için çözülen sistemde işler; birinci makinede 9-8-1-4, ikinci makinede 10-5-6 ve üçüncü makinede 3-7-2 şeklinde sıralanmıştır. Hazırlık zamanları ise işler arasındaki kareli kutucuklar ile tanımlanmıştır.

Makinelere atanan işlerden birinci makinedeki 9-8,8-1,1-4 işler arasında, ikinci makinedeki 10-5,5-6 işler arasında, üçüncü makinedeki 3-7 işler arasında bir sonraki işe geçiş sağlayabilmek için hazırlık sürelerine ihtiyaç duyulduğu görünmektedir.



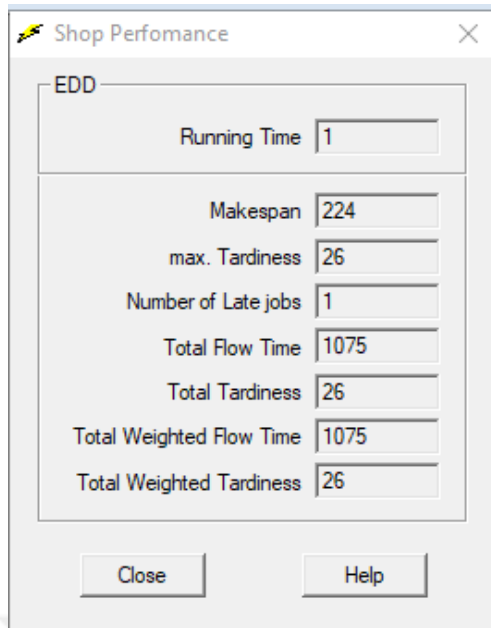
Şekil 6.25 10_3 EDD çözüm ekranı

10 iş 3 makine boyutlu tasarımın çözüm sonuçları penceresinden, yayılım süresine, maksimum gecikmeye, geciken iş sayısına, toplam akış zamanına, toplam gecikmeye, toplam ağırlıklı iş akışına ve toplam ağırlıklı gecikme gibi sonuçlara ulaşılabilir. 10 iş 3 makine probleminin çözümü sonucunda ortaya çıkan amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 158 dk'dır ve geciken iş sayısı 4'tür.



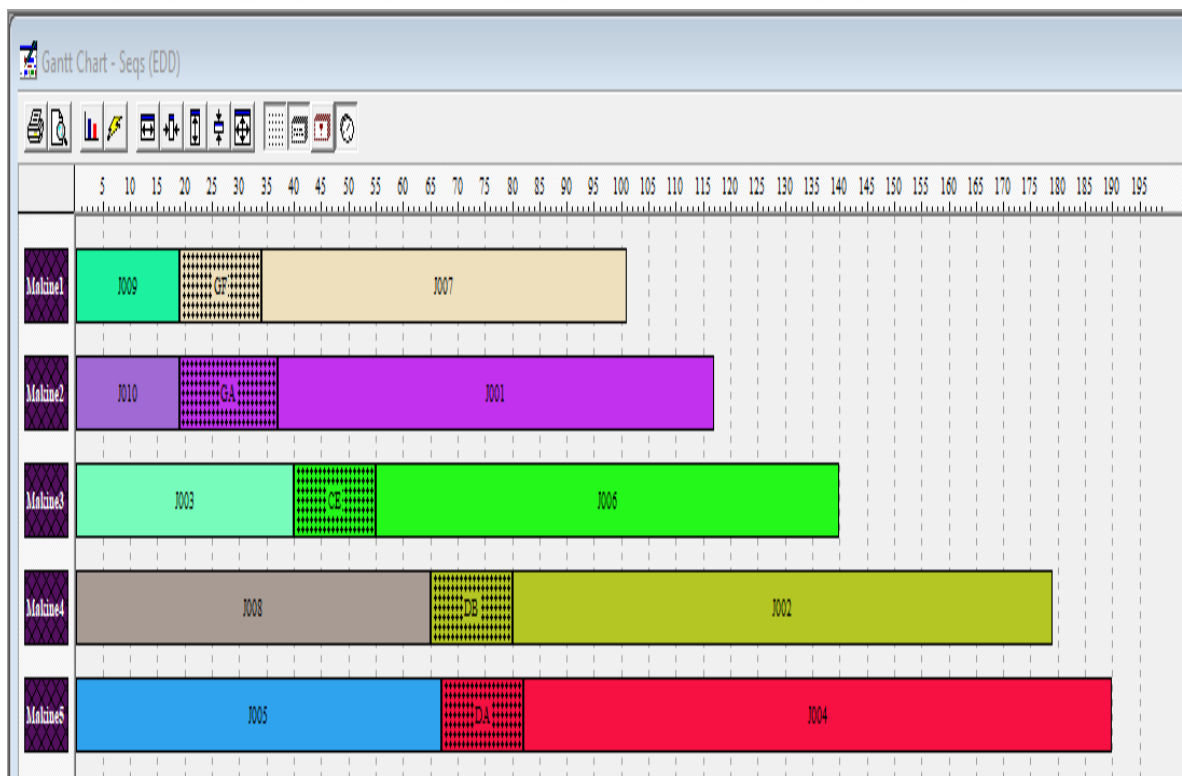
Şekil 6.26 10_4 Gantt şeması gösterimi

10 iş 4 makine için çözülen sistemde işler; birinci makinede 9-5-2, ikinci makinede 10-7-4, üçüncü makinede 3-1 ve dördüncü makinede 8-6 şeklinde sıralanmıştır. Her bir makineye atanan işler arasında hazırlık süreleri mevcuttur ve bu süreler kareli kutucuklarla ifade edilmiştir.



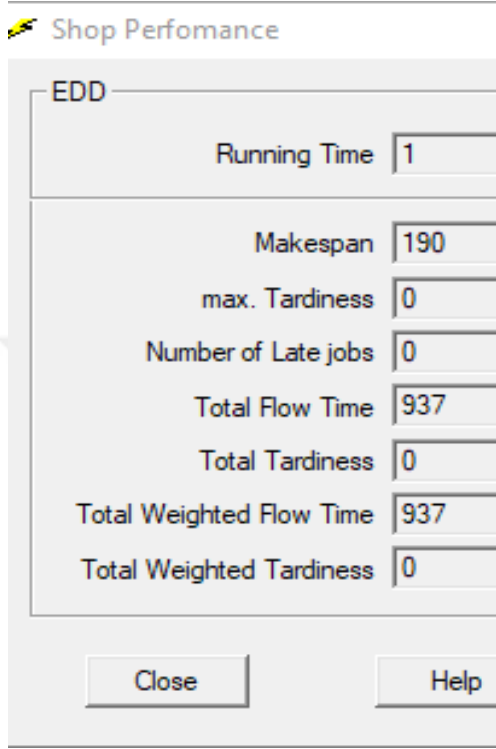
Şekil 6.27 10_4 EDD çözüm ekranı

10 iş 4 makine probleminin çözümü sonucunda ortaya çıkan amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 26 dakika ve geciken iş sayısı 1'dir



Şekil 6.28 10_5 Gantt şeması gösterimi

10 iş 5 makine için çözülen sistemde işler; birinci makinede 9-7, ikinci makinede 10-1, üçüncü makinede 3-6, dördüncü makinede 8-2, beşinci makinede 5-4 şeklinde sıralanmıştır. Hazırlık zamanları ise işler arasındaki kareli kutucuklar ile tanımlanmıştır ve şemadan da anlaşılacağı üzere her iş başlangıcında hazırlık süresine rastlanmaktadır.



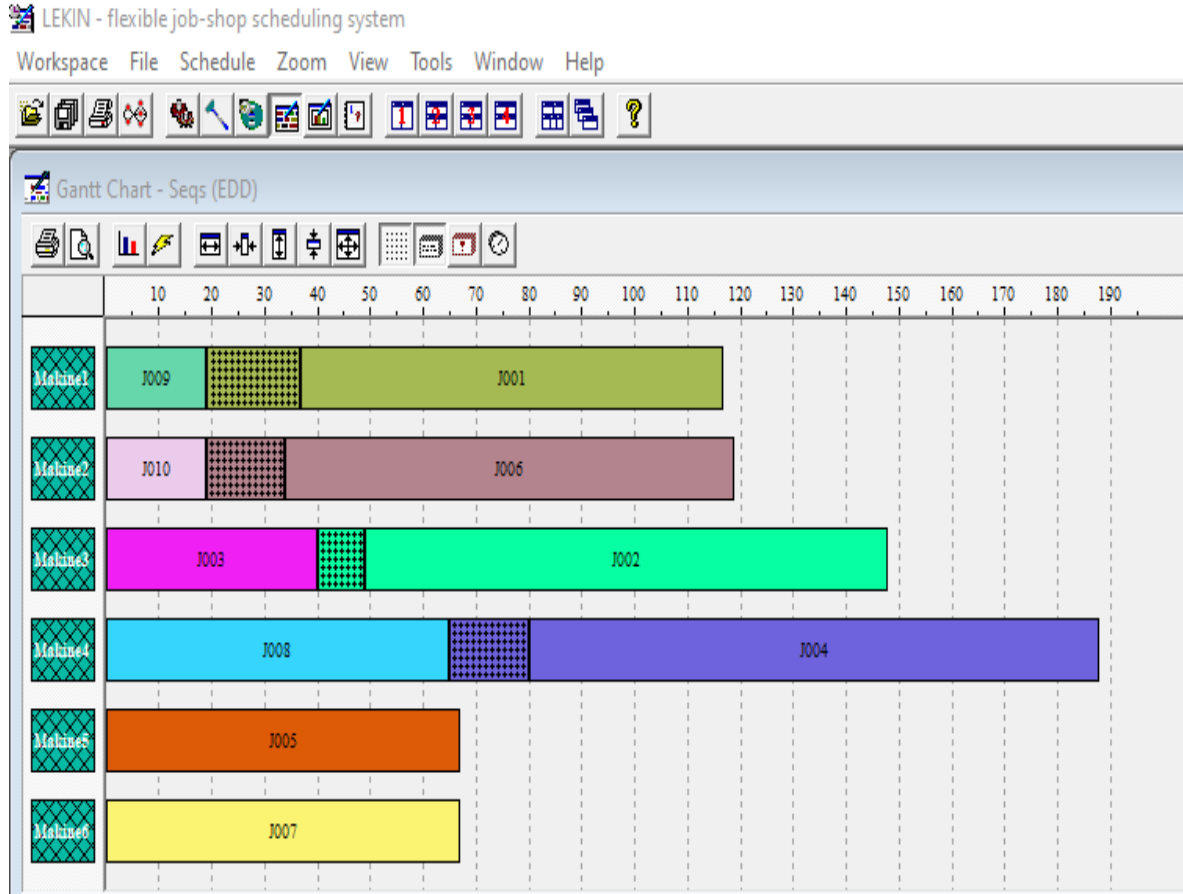
The screenshot shows a software window titled 'Shop Performance'. Inside, there is a section labeled 'EDD' containing several performance metrics, each with a corresponding input field. The metrics and their values are as follows:

Metric	Value
Running Time	1
Makespan	190
max. Tardiness	0
Number of Late jobs	0
Total Flow Time	937
Total Tardiness	0
Total Weighted Flow Time	937
Total Weighted Tardiness	0

At the bottom of the window, there are two buttons: 'Close' and 'Help'.

Şekil 6.29 10_5 EDD çözüm ekranı

10 iş 5 makine probleminin çözümü sonucunda ortaya çıkan amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) optimal değere ulaşmıştır ve 0'dır.



Şekil 6.30 10_6 Gantt şeması gösterimi

10 iş 6 makine için çözülen tasarımda işler sırasıyla; birinci makinede 9-1, ikinci makinede 10-6, üçüncü makinede 3-2, dördüncü makinede 8-4, beşinci makinede yalnızca 5 ve altıncı makinede yalnızca 7 konumlu iş olacak şeklinde sıralanmıştır. Birinci makinedeki 9-1 konumlu işler, ikinci makinedeki 10-6 konumlu işler, üçüncü makinedeki 3-2 konumlu işler ve dördüncü makinedeki 8-4 konumlu işler arasında sıra bağımlı hazırlık sürelerine gerek duyulmuştur.

Shop Performance [X]

EDD

Running Time

Makespan

max. Tardiness

Number of Late jobs

Total Flow Time

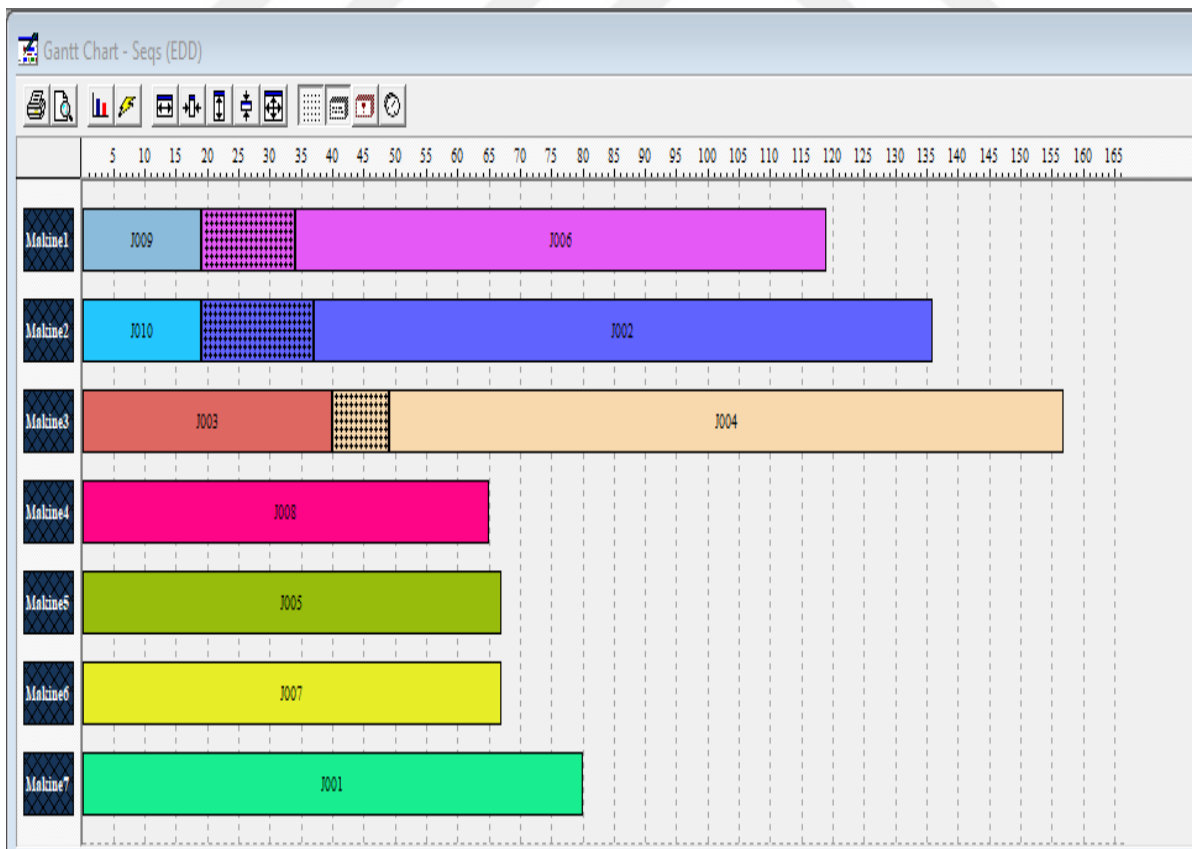
Total Tardiness

Total Weighted Flow Time

Total Weighted Tardiness

Şekil 6.31 10_6 EDD çözüm ekranı

10 iş 6 makine probleminin çözümü sonucunda ortaya çıkan amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) optimal değere ulaşmıştır ve 0 değerini almıştır.



Şekil 6.32 10_7 Gantt şeması gösterimi

10 iş 7 makine için çözölen tasarımıda işler; birinci makinede 9-6, ikinci makinede 10-2, üçüncü makinede 3-4, dördüncü makinede 8, beşinci makinede yalnızca 5, altıncı makinede 7 ve altıncı makinede 1 konumlu iş olacak şekilde sıralanmıştır. Hazırlık zamanları ise kareli kutucuklar ile 9-6,10-2 ve 3-4 konumlu işler arasında gösterilmiştir.

The screenshot shows a window titled 'Shop Performance' with a close button (X) in the top right corner. Inside the window, there is a section labeled 'EDD' containing several performance metrics, each with a corresponding input field:

Metric	Value
Running Time	1
Makespan	157
max. Tardiness	0
Number of Late jobs	0
Total Flow Time	769
Total Tardiness	0
Total Weighted Flow Time	769
Total Weighted Tardiness	0

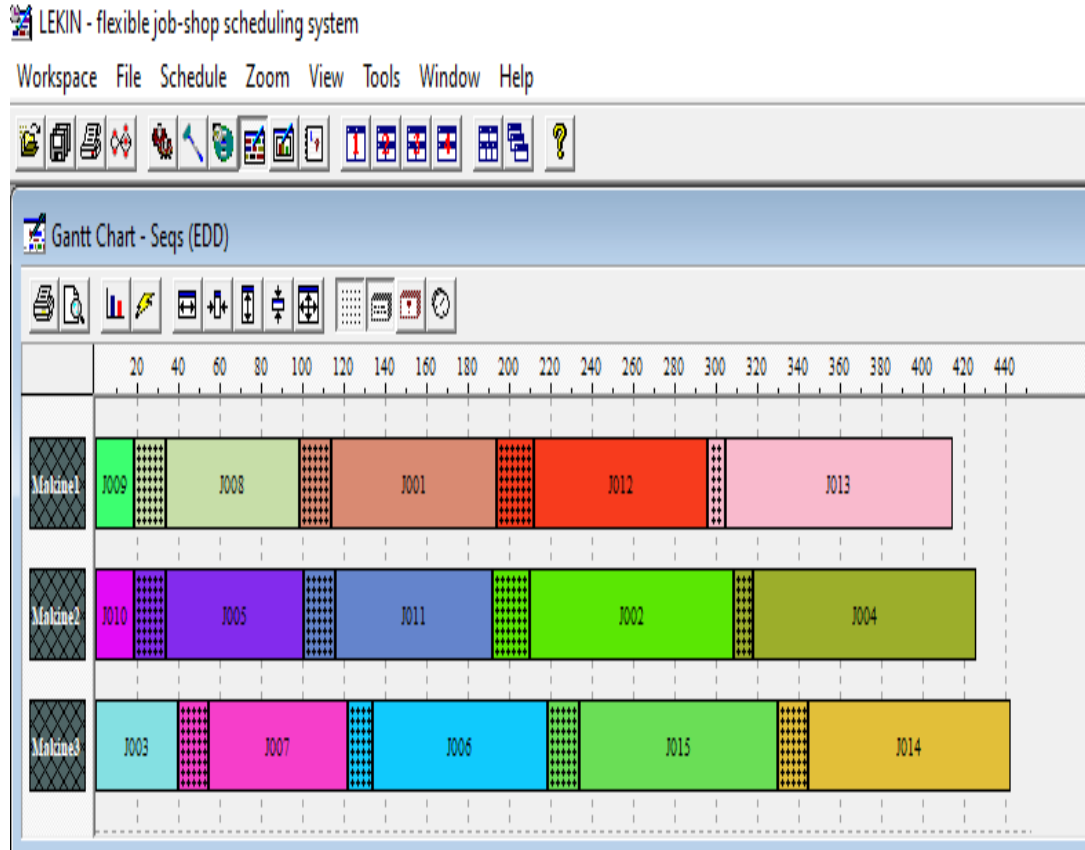
At the bottom of the window, there are two buttons: 'Close' and 'Help'.

Şekil 6.33 10_7 EDD çözüm ekranı

10 iş 7 makine probleminin çözümü sonucunda ortaya çıkan amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 0'dır ve optimal değere ulaşmıştır.

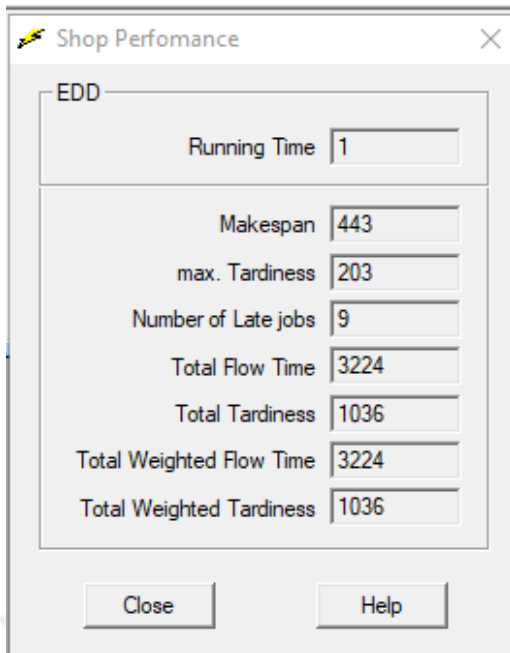
6.2.3.Lekin yazılımı deney tasarım grubu-2

15 iş için farklı boyutlarda türetilen problemlerin $t=1, t=2, t=3, t=4, t=5, t=6$ ve $t=7$ makine ortamında EDD sonuçlarına ve Gantt şemasına yer verilmiştir.



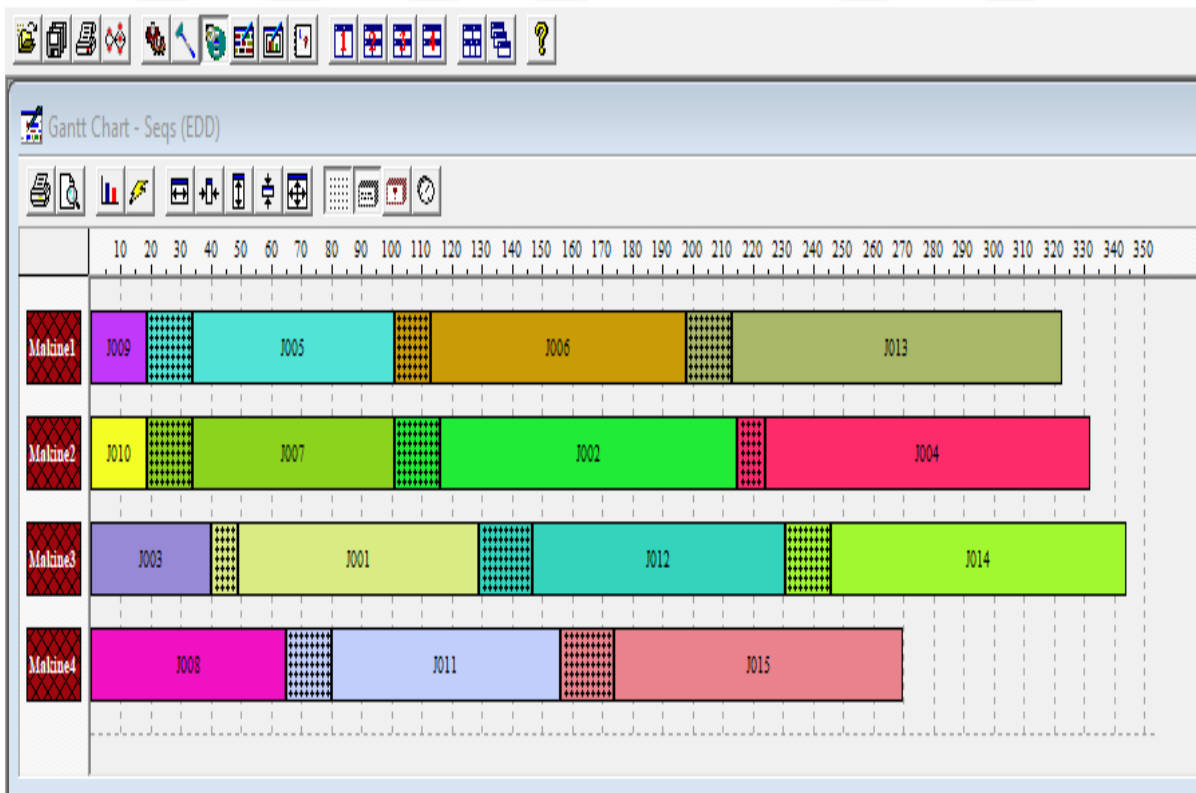
Şekil 6.34 15_3 Gantt şeması gösterimi

15 iş $t=3$ makine ortamı için tasarlanan problemin Gantt şeması sıralamasına göre işler; birinci makinede sırasıyla 9-8-1-12-13, ikinci makinede 10-5-11-2-4, üçüncü makinede ise 3-7-6-15-14 şeklinde sıralanmıştır. Her iş arasında hazırlık süresi olduğu görülmektedir.



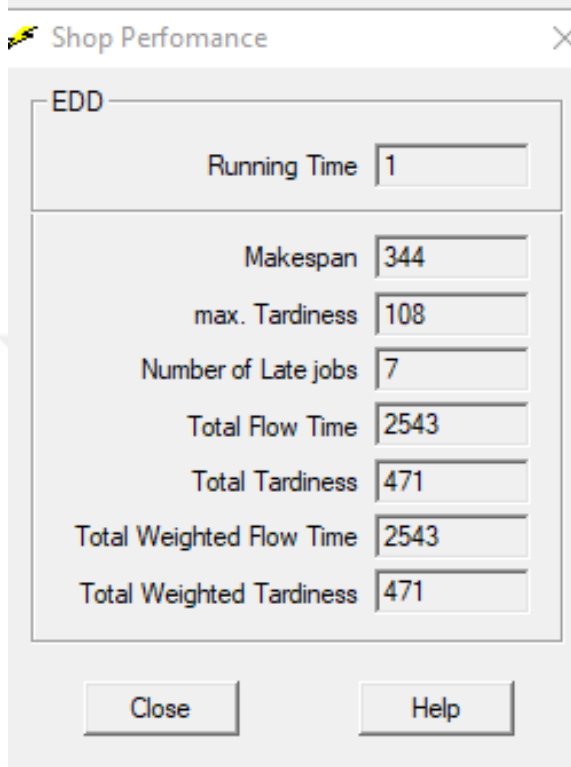
Şekil 6.35 15_3 EDD çözüm ekranı

Oluşturulan problemin çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 1036 dk'dır. Geciken iş sayısı ise 9'dur.



Şekil 6.36 15_4 Gantt şeması gösterimi

15 iş $t=4$ ortamı için tasarlanan problemde Gantt şeması çıktısına göre işlerin sıralaması; birinci makinede 9-5-6-13, ikinci makinede 10-7-2-4, üçüncü makinede 3-1-12-14 ve dördüncü makinede 8-11-15 şeklindedir. Ayrıca tüm iş geçişlerinde hazırlık süresine gerek duyulmuştur.

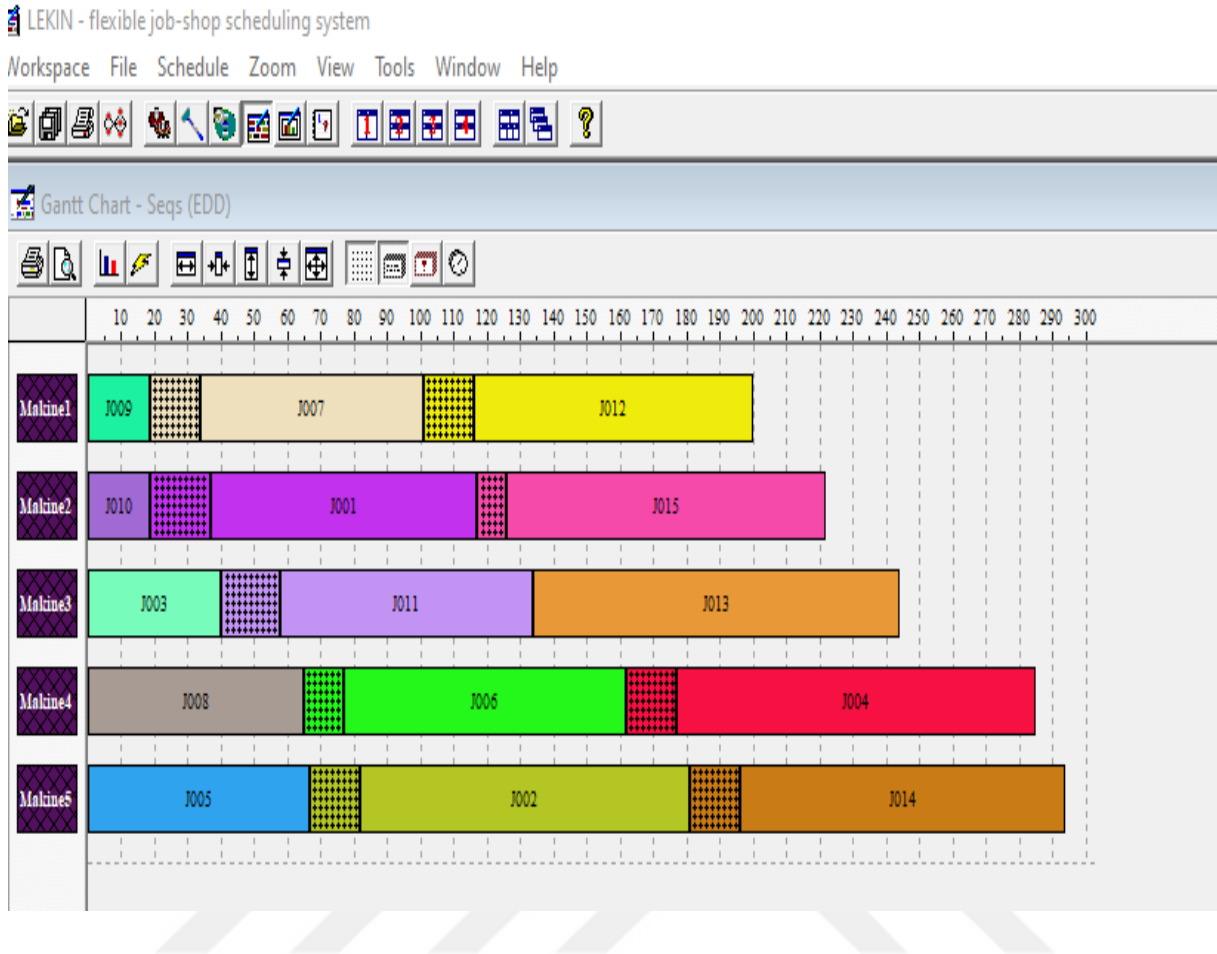


The screenshot shows a window titled 'Shop Performance' with a close button (X). Inside, there is a section labeled 'EDD' containing a table of performance metrics. The 'Running Time' is 1. The other metrics are: Makespan 344, max. Tardiness 108, Number of Late jobs 7, Total Flow Time 2543, Total Tardiness 471, Total Weighted Flow Time 2543, and Total Weighted Tardiness 471. At the bottom, there are 'Close' and 'Help' buttons.

EDD	
Running Time	1
Makespan	344
max. Tardiness	108
Number of Late jobs	7
Total Flow Time	2543
Total Tardiness	471
Total Weighted Flow Time	2543
Total Weighted Tardiness	471

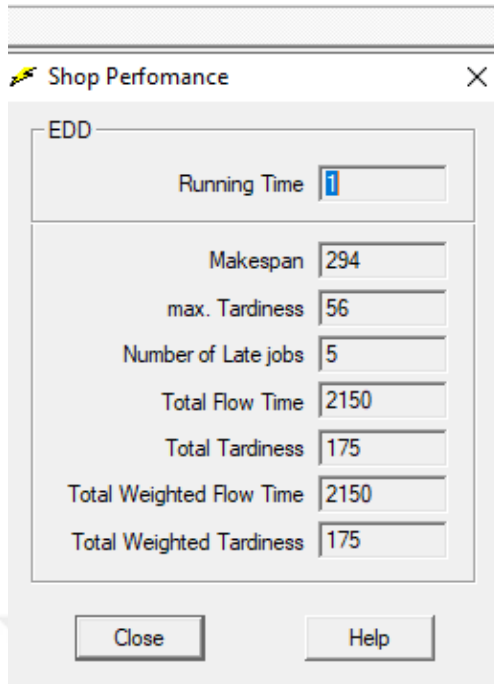
Şekil 6.37 15_4 EDD çözüm ekranı

Türetilen problemin çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 471 dk'dır. Geciken iş sayısı ise 7'dir.



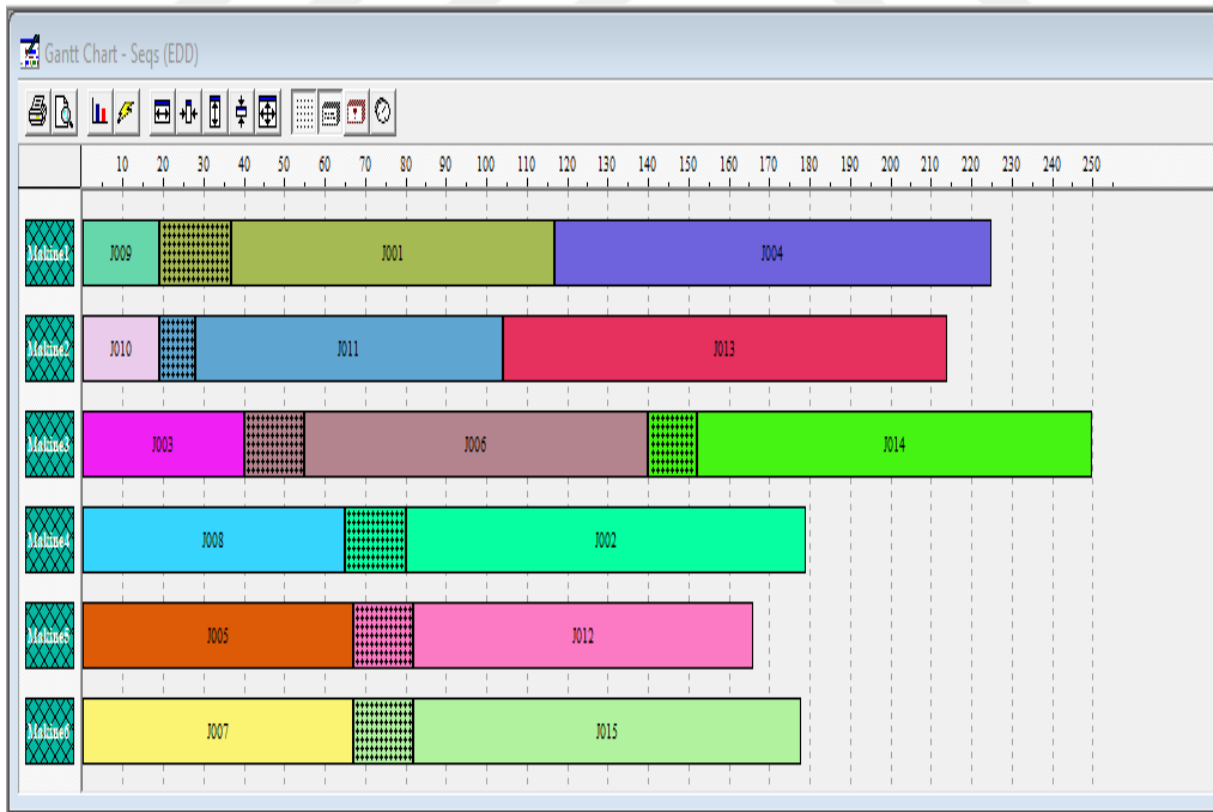
Şekil 6.38 15_5 Gantt şeması gösterimi

15 iş 5 makine ile oluşturulan deney tasarımının LEKİN sonuçlarına göre oluşan sıralamada; birinci makineye sırasıyla 9-7-12 konumlu işler, ikinci makineye 10-1-15, üçüncü makineye 3-11-13, dördüncü makineye 8-6-4 ve beşinci makineye 5-2-14 konumlu işler atanmıştır. Ayrıca üçüncü makineye atanan 11-13 konumlu işler dışında tüm iş geçişlerinde hazırlık süresi mevcuttur.



Şekil 6.39 15_5 EDD çözüm ekranı

Türetilen problemin çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 175 dk'dır. Geciken iş sayısı ise 5'tir



Şekil 6.40 15_6 Gantt şeması gösterimi

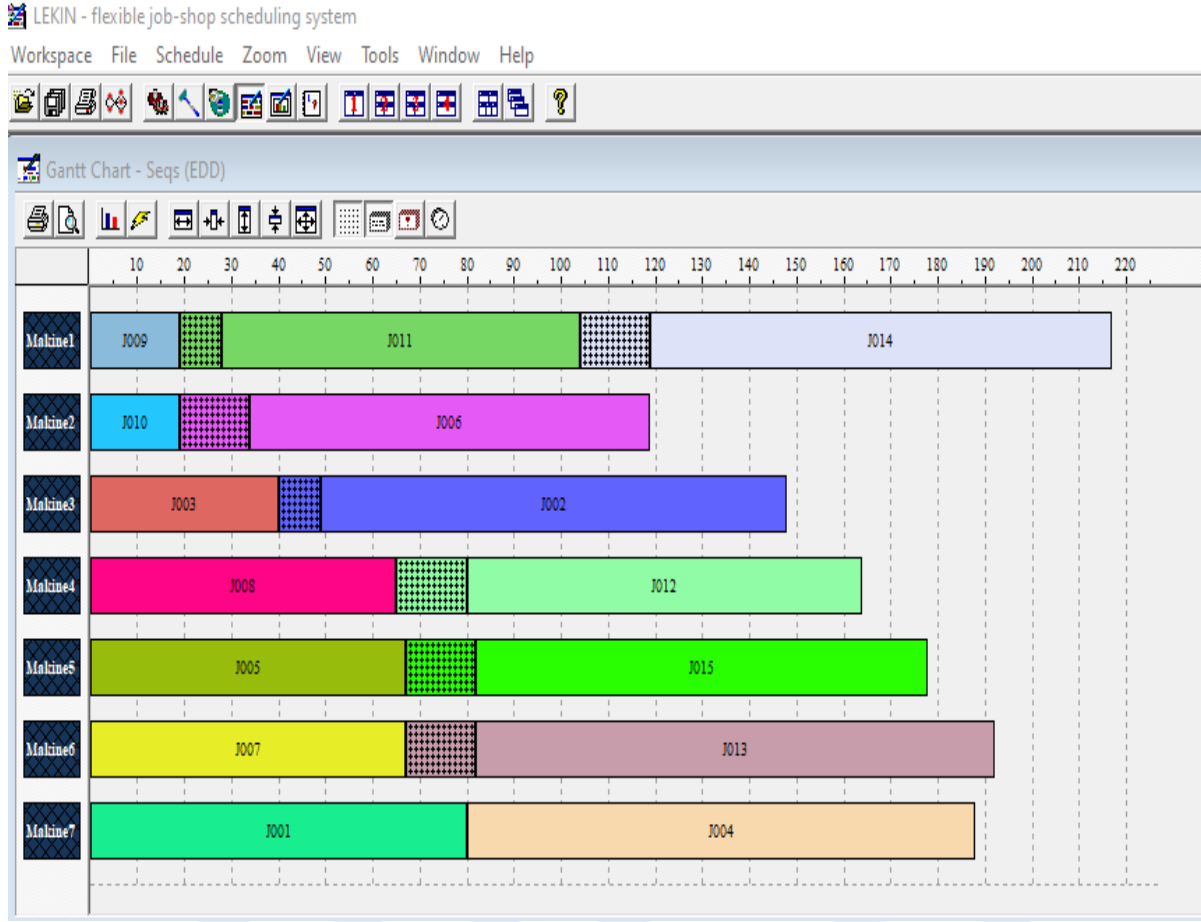
15 iş 6 makine ile oluşturulan deney tasarımının LEKİN sonuçlarına göre oluşan Gantt şeması sıralamasına göre işler; birinci makineye 9-1-4, ikinci makineye 10-11-13, üçüncü makineye 3-6-14, dördüncü makineye 8-2, beşinci makineye 5-12 ve altıncı makineye 7-15 olacak şekilde atanmıştır. Makinelere atanan tüm işler arasında hazırlık süresi vardır.

The screenshot shows a software window titled 'Shop Performance' with a close button (X). Inside the window, there is a section labeled 'EDD' containing a table of performance metrics. The table has two columns: the metric name and its value. The metrics and their values are: Running Time (1), Makespan (250), max. Tardiness (10), Number of Late jobs (1), Total Flow Time (1850), Total Tardiness (10), Total Weighted Flow Time (1850), and Total Weighted Tardiness (10). At the bottom of the window, there are two buttons: 'Close' and 'Help'.

EDD	
Running Time	1
Makespan	250
max. Tardiness	10
Number of Late jobs	1
Total Flow Time	1850
Total Tardiness	10
Total Weighted Flow Time	1850
Total Weighted Tardiness	10

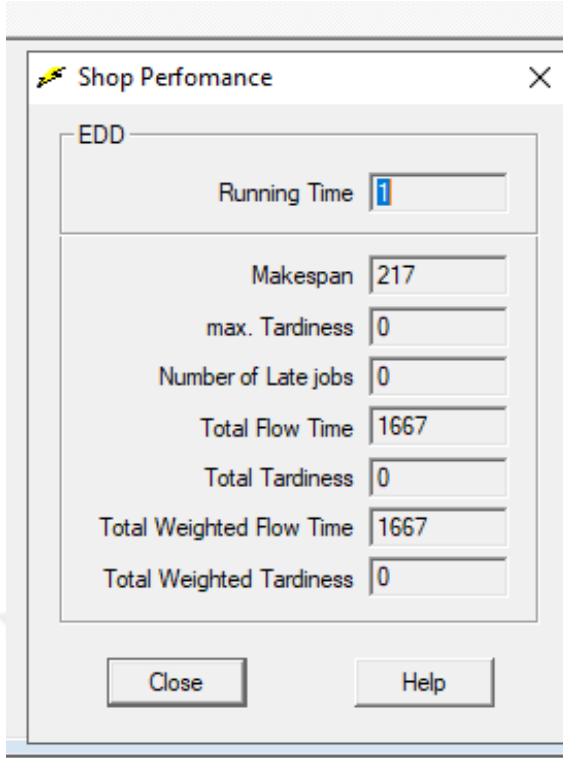
Şekil 6.41 15_6 EDD çözüm ekranı

Türetilen problemin çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 10 dakika ve geciken iş sayısı 1'dir.



Şekil 6.42 15_7 Gantt şeması gösterimi

15 iş 7 makine ile oluşturulan deney tasarımının LEKİN sonuçlarına göre oluşan Gantt şeması sıralamasına göre işler; birinci makineye 9-11-14, ikinci makineye 10-6, üçüncü makineye 3-2, dördüncü makineye 8-12, beşinci makineye 5-15, altıncı makineye 7-13 ve yedinci makineye 1-4 olacak şekilde atanmıştır. Yedinci makineye atanan işler dışında diğer makinelere atanan tüm işler arasında hazırlık süresi mevcuttur.

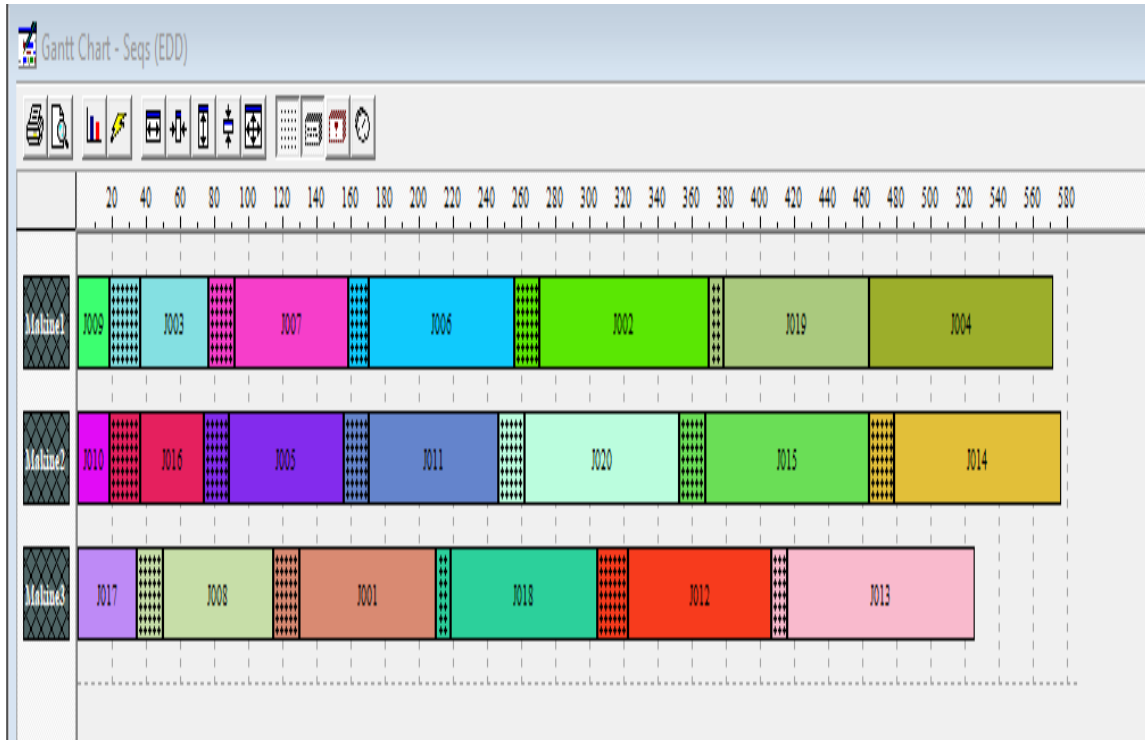


Şekil 6.43 15_7 EDD çözüm ekranı

15 iş 7 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) optimal düzeye ulaşarak 0 değerini almıştır.

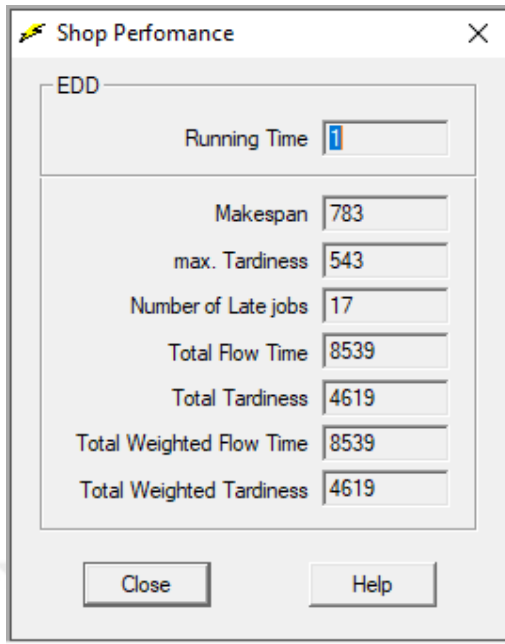
6.2.4.Lekin yazılımı deney tasarım grubu-3

20 iş için farklı boyutlarda türetilen problemlerin $t=1, t=2, t=3, t=4, t=5, t=6$ ve $t=7$ makine ortamındaki EDD sonuçlarına ve Gantt şemasına yer verilmiştir.



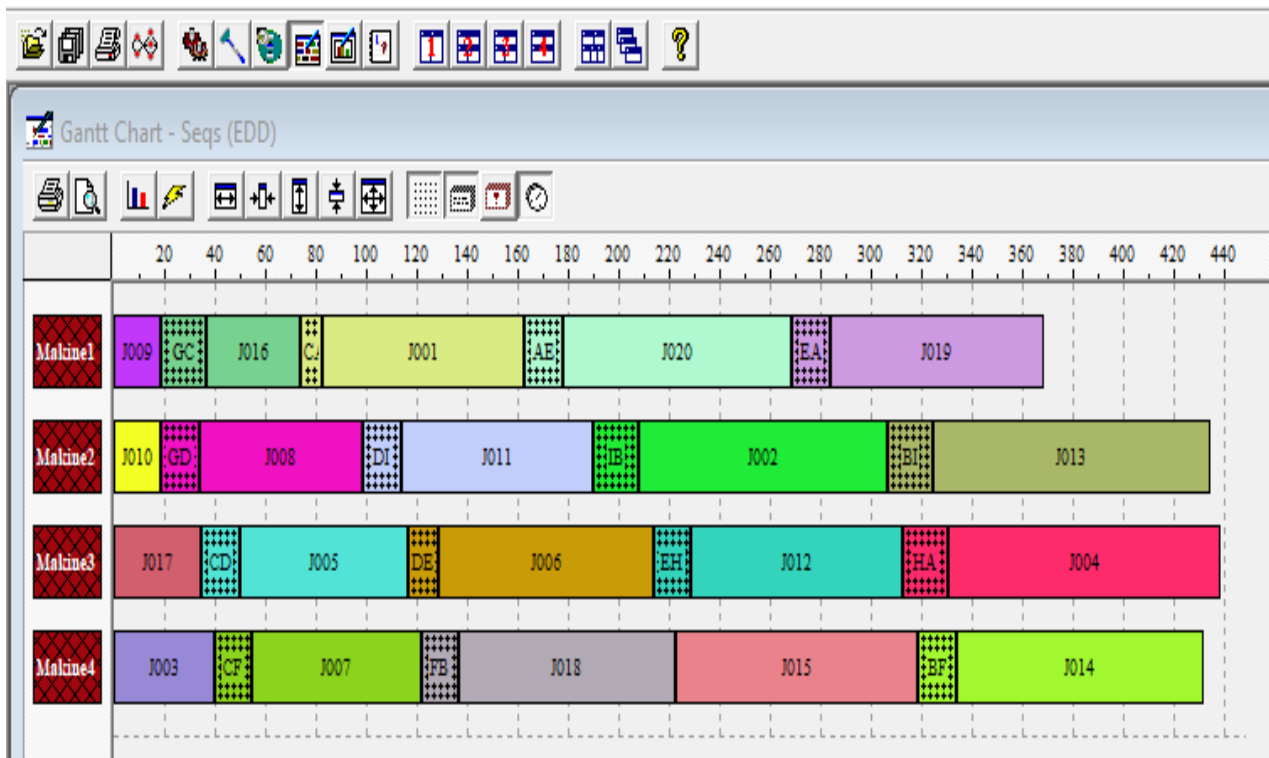
Şekil 6.44 20_3 Gantt şeması gösterimi

20 iş 3 makine ile oluşturulan deney tasarımının LEKİN sonuçlarına göre oluşan Gantt şeması sıralamasına göre işler; birinci makinede 9-3-7-6-2-19-4, ikinci makinede 10-16-5-11-20-15-14, üçüncü makinede 17-8-1-18-13 şeklinde sıralanmıştır. Birinci makineye atanan 19 konumlu işten 4 konumlu işe geçiş esnasında hazırlık süresine ihtiyaç olmamıştır. Bu işler dışında kalan iş geçişlerinde, hazırlık sürelerine yani makinelerin yıkanıp bir sonraki iş için hazır hale getirilmesine gereksinim vardır.



Şekil 6.45 20_3 EDD çözüm ekranı

20 iş 3 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 4619 dakikadır ve geciken iş sayısı 17'dir.



Şekil 6.46 20_4 Gantt şeması gösterimi

20 iş 4 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 20 iş 4 makineli bir ortam için çözülen problemde işlerin sıralama sonucu; birinci makinede 9-16-1-20-19, ikinci makinede 10-8-11-2-13, üçüncü makinede 17-5-6-12-4 ve dördüncü makinede 3-7-18-15-14 sırasında atanması şeklindedir. Dördüncü makineye atanan 18-15 numaralı işler dışında geriye kalan tüm işler arasında hazırlık süresi mevcuttur.

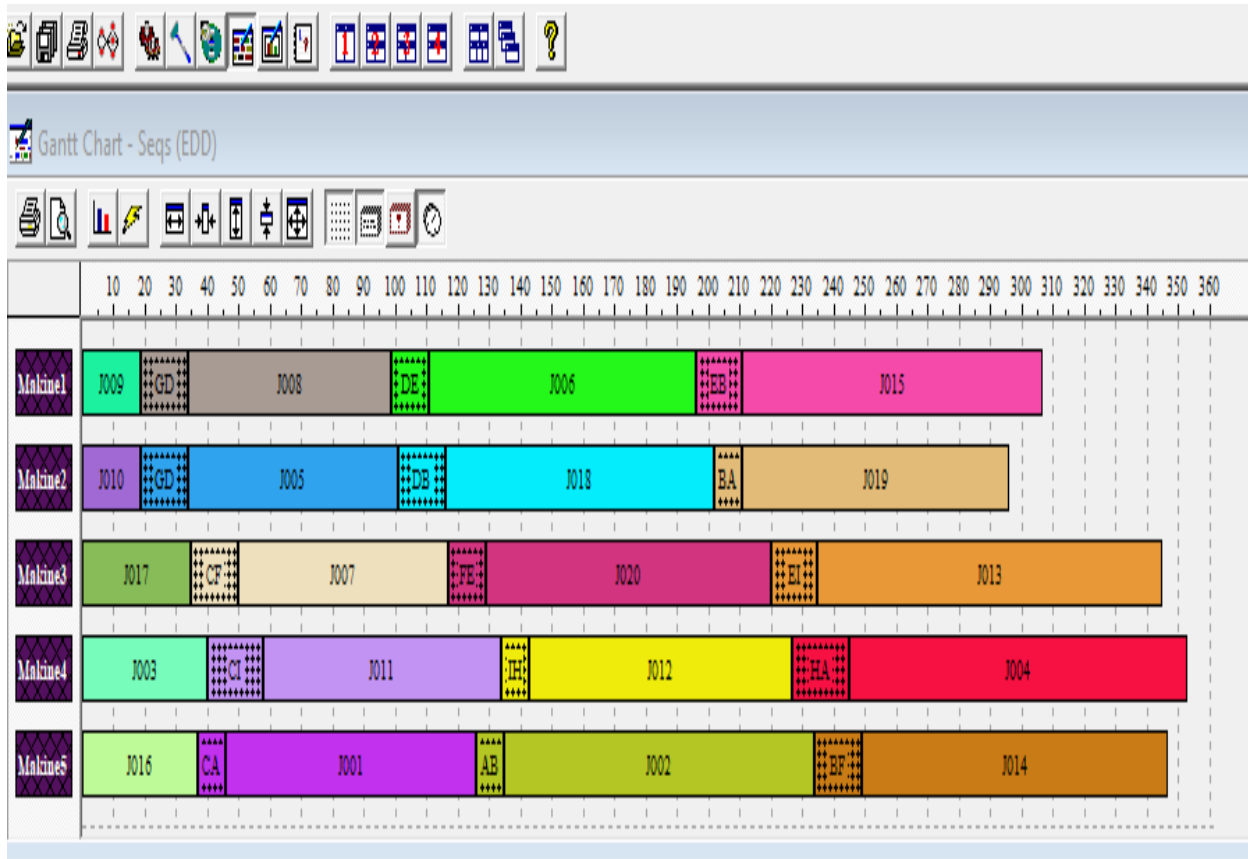
The screenshot shows a window titled 'Shop Performance' with a close button (X). Inside the window, there is a section labeled 'EDD' containing several performance metrics, each with a text label and a corresponding input field showing a numerical value:

Metric	Value
Running Time	1
Makespan	439
max. Tardiness	220
Number of Late jobs	11
Total Flow Time	4198
Total Tardiness	1328
Total Weighted Flow Time	4198
Total Weighted Tardiness	1328

At the bottom of the window, there are two buttons: 'Close' and 'Help'.

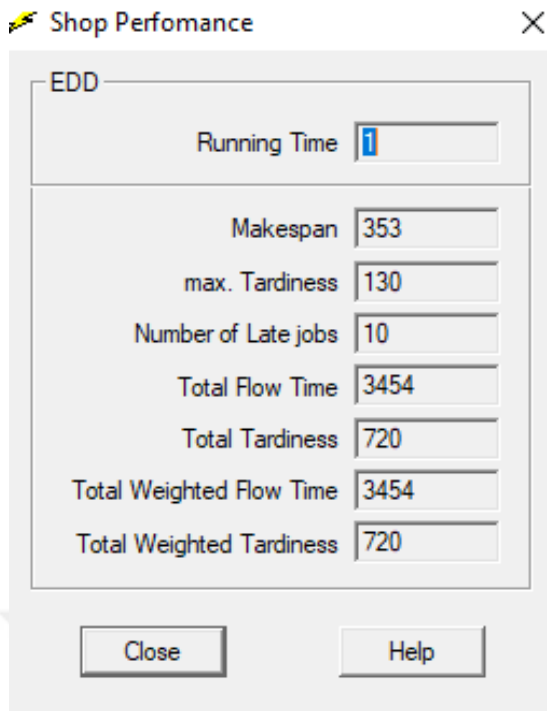
Şekil 6.47 20_4 EDD çözüm ekranı

20 iş 4 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 1328 dakikadır ve geciken iş sayısı 11'dir.



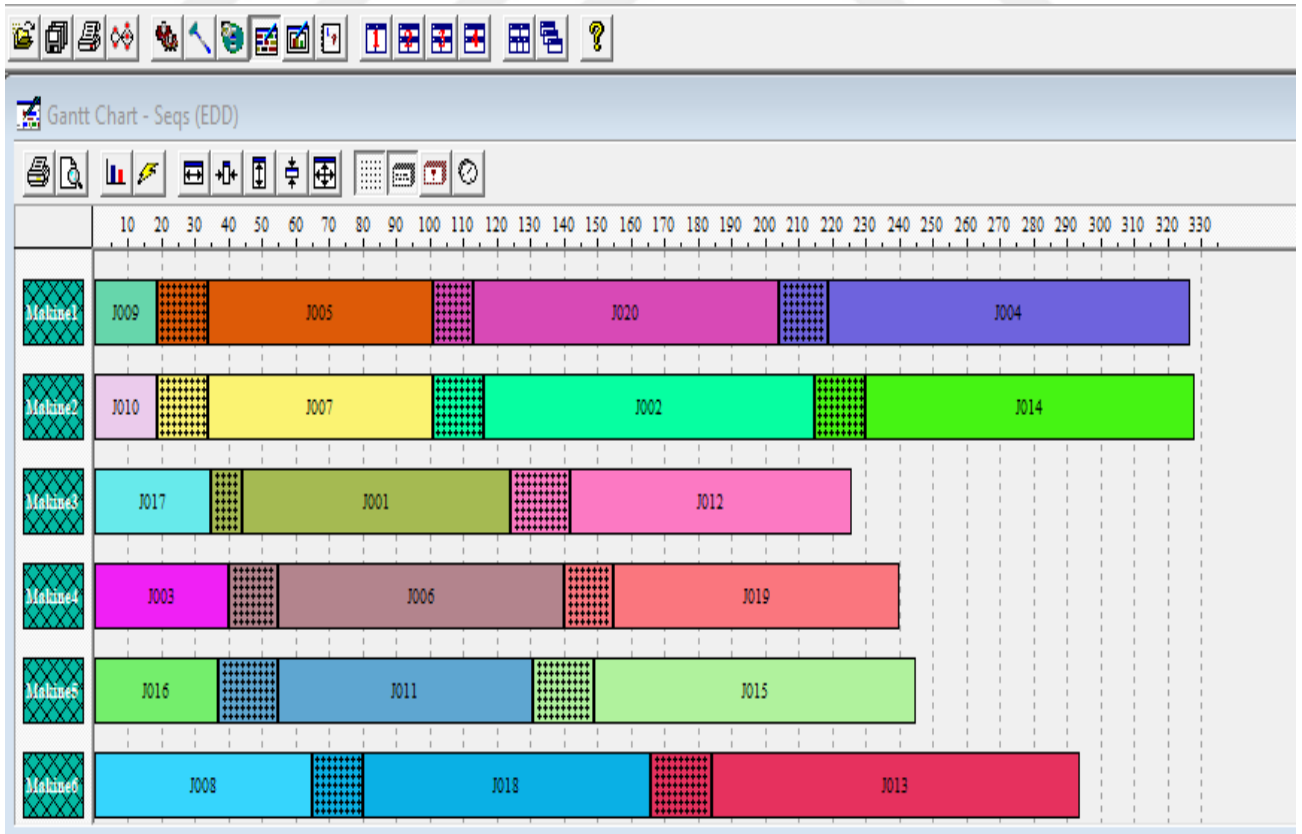
Şekil 6.48 20_5 Gantt şeması gösterimi

20 iş 5 makinenin söz konusu olduğu örnek problemin LEKİN çözüm sonuçlarına göre işlerin sıralaması; birinci makinede 9-8-6-15, ikinci makinede 10-5-18-19, üçüncü makinede 17-7-20-13, dördüncü makinede 3-11-12-4 ve beşinci makinede 16-1-2-14 şeklindedir. Tüm iş geçişlerinde hazırlık süresine rastlanmaktadır.



Şekil 6.49 20_5 EDD çözüm ekranı

20 iş 5 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 720 dakikadır ve geciken iş sayısı 10'dur.



Şekil 6.50 20_6 Gantt şeması gösterimi

20 iş 6 makine ortamında birinci makinede işler sırasıyla; 9-5-20-4, ikinci makinede 10-7-2-14 şeklinde sıralanmıştır. Üçüncü makinede işler sırasıyla 17-1-12, dördüncü makinede 3-6-19, beşinci makinede 16-11-15 ve altıncı makinede 8-18-13 şeklinde işlerin makinelere ataması yapılmıştır. Tüm iş geçişlerinde hazırlık süreleri vardır ve sonuca dahil edilmiştir.

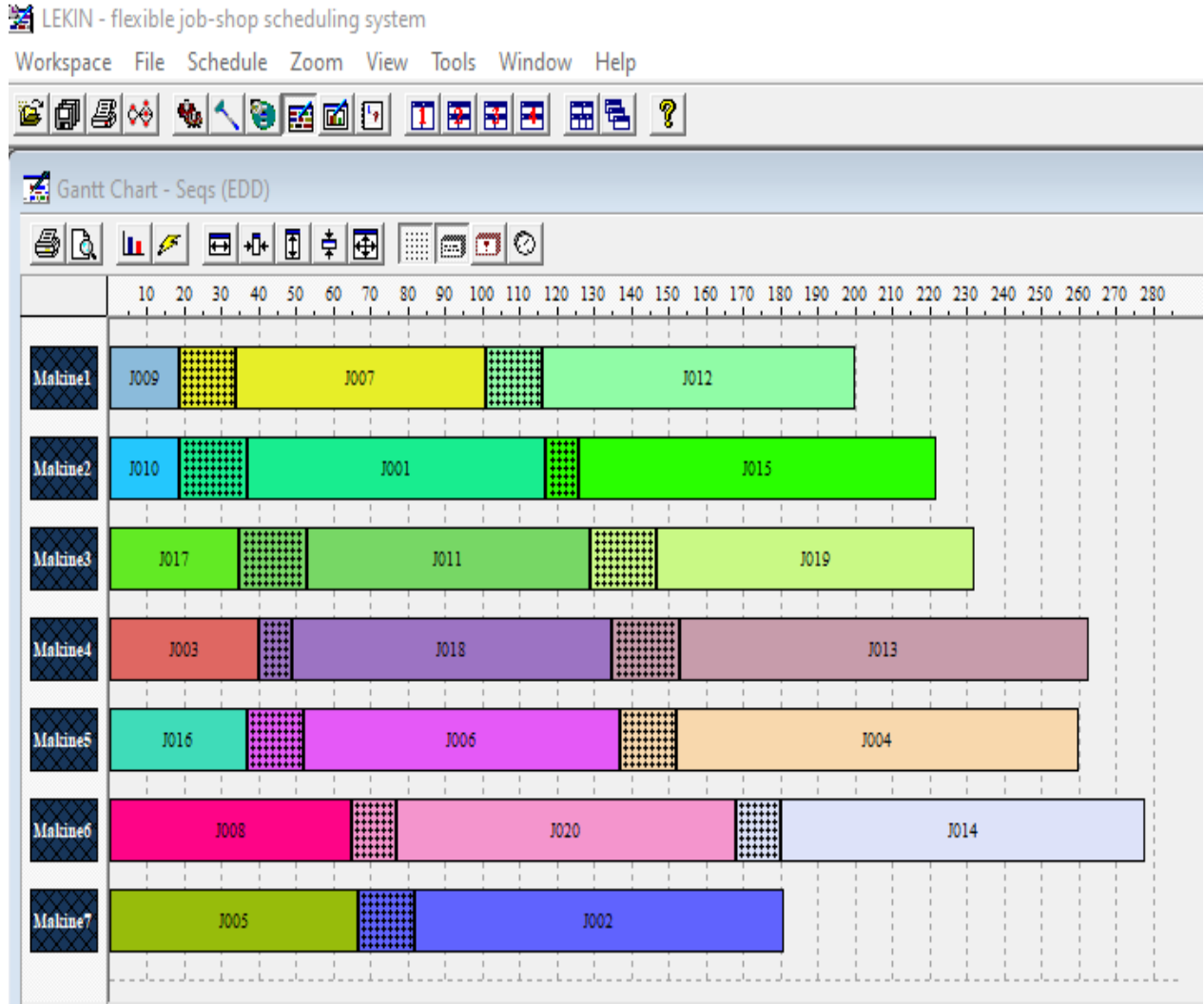
The screenshot shows a window titled 'Shop Performance' with a close button (X) in the top right corner. Inside the window, there is a section labeled 'EDD' containing a table of performance metrics. The 'Running Time' is shown as 1. Below this, a list of metrics and their values is displayed in a table-like format. At the bottom of the window, there are two buttons: 'Close' and 'Help'.

EDD	
Running Time	1
Makespan	328
max. Tardiness	98
Number of Late jobs	8
Total Flow Time	3057
Total Tardiness	438
Total Weighted Flow Time	3057
Total Weighted Tardiness	438

Close Help

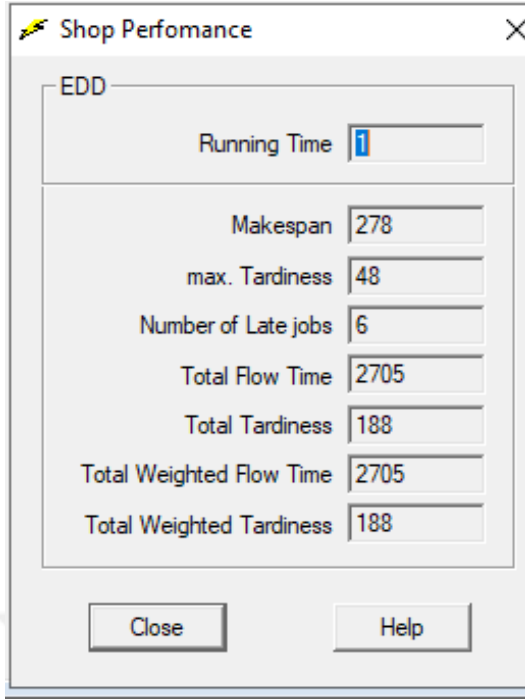
Şekil 6.51 20_6 EDD çözüm ekranı

20 iş 6 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 438 dakikadır ve geciken iş sayısı 8'dir.



Şekil 6.52 20_7 Gantt şeması gösterimi

20 iş 7 makine ortamı için tasarlanan sıra bağımlı hazırlık süreli problemin Gantt şeması yukarıdaki gibidir. LEKİN çözüm sonuçlarına göre; birinci makineye sırasıyla 9-7-12, ikinci makine 10-1-15, üçüncü makine 17-11-19, dördüncü makine 3-18-13, beşinci makine 16-6-4, altıncı makine 8-20-14 ve yedinci makine 5-2 şeklindedir. Makinelere atanan işler arasında hazırlık sürelerinin varlığı şemada görülmektedir.



The screenshot shows a window titled 'Shop Performance' with a close button (X) in the top right corner. Inside the window, there is a section labeled 'EDD' containing several performance metrics, each with a corresponding input field showing a value:

Metric	Value
Running Time	1
Makespan	278
max. Tardiness	48
Number of Late jobs	6
Total Flow Time	2705
Total Tardiness	188
Total Weighted Flow Time	2705
Total Weighted Tardiness	188

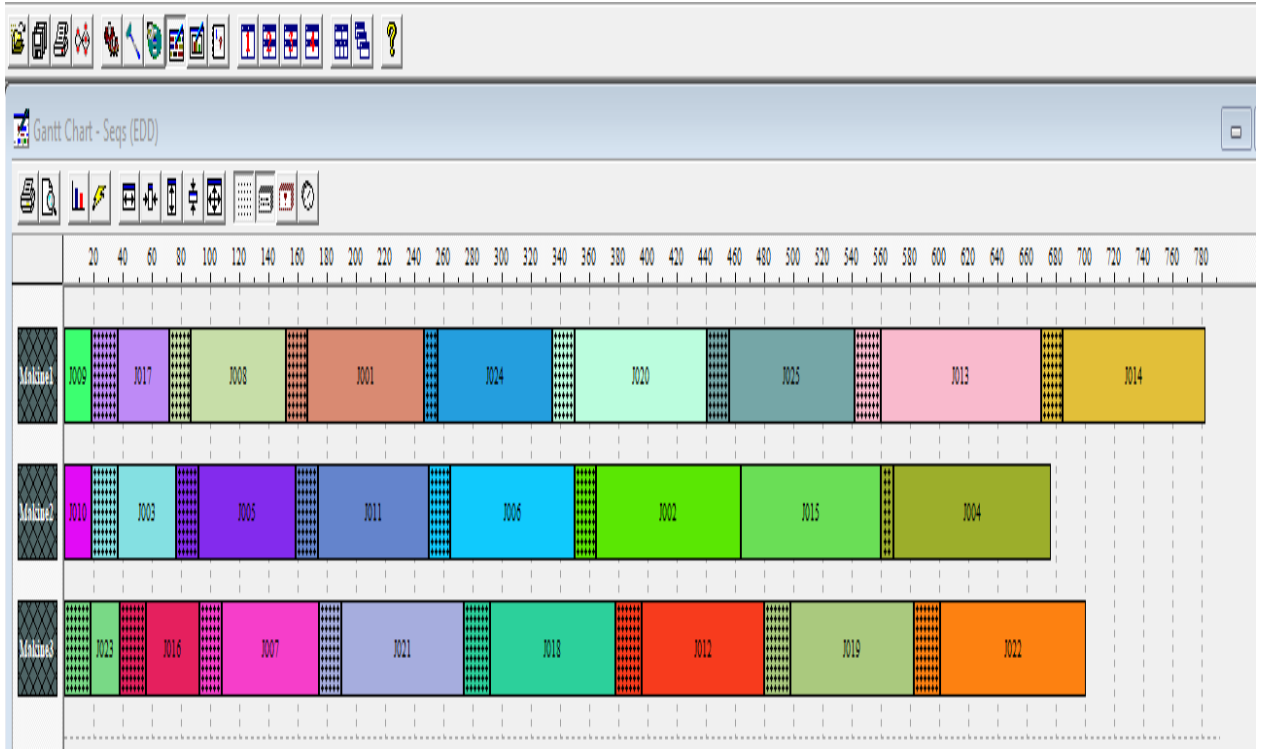
At the bottom of the window, there are two buttons: 'Close' and 'Help'.

Şekil 6.53 20_6 EDD çözüm ekranı

20 iş 7 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 188 dakikadır ve geciken iş sayısı 6'dır.

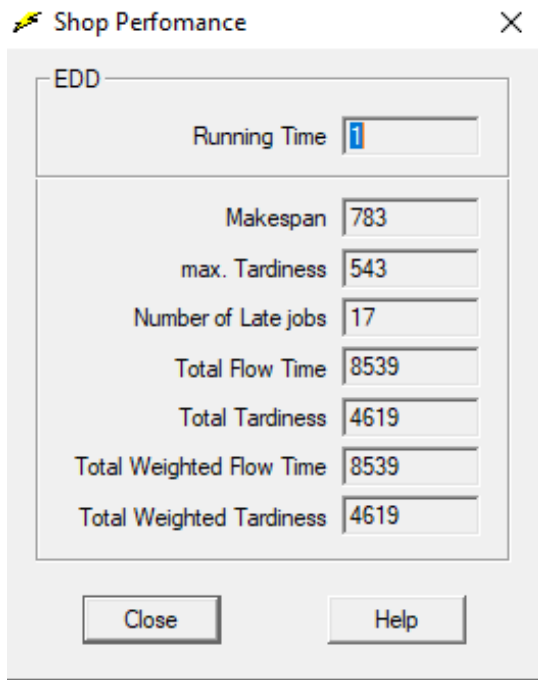
6.2.5 Lekin Deney Tasarım Grubu-4

25 iş için farklı boyutlarda tasarlanan problemin $t=1, t=2, t=3, t=4, t=5, t=6$ ve $t=7$ makine ortamındaki EDD sonuçlarına ve Gantt şemasına yer verilmiştir.



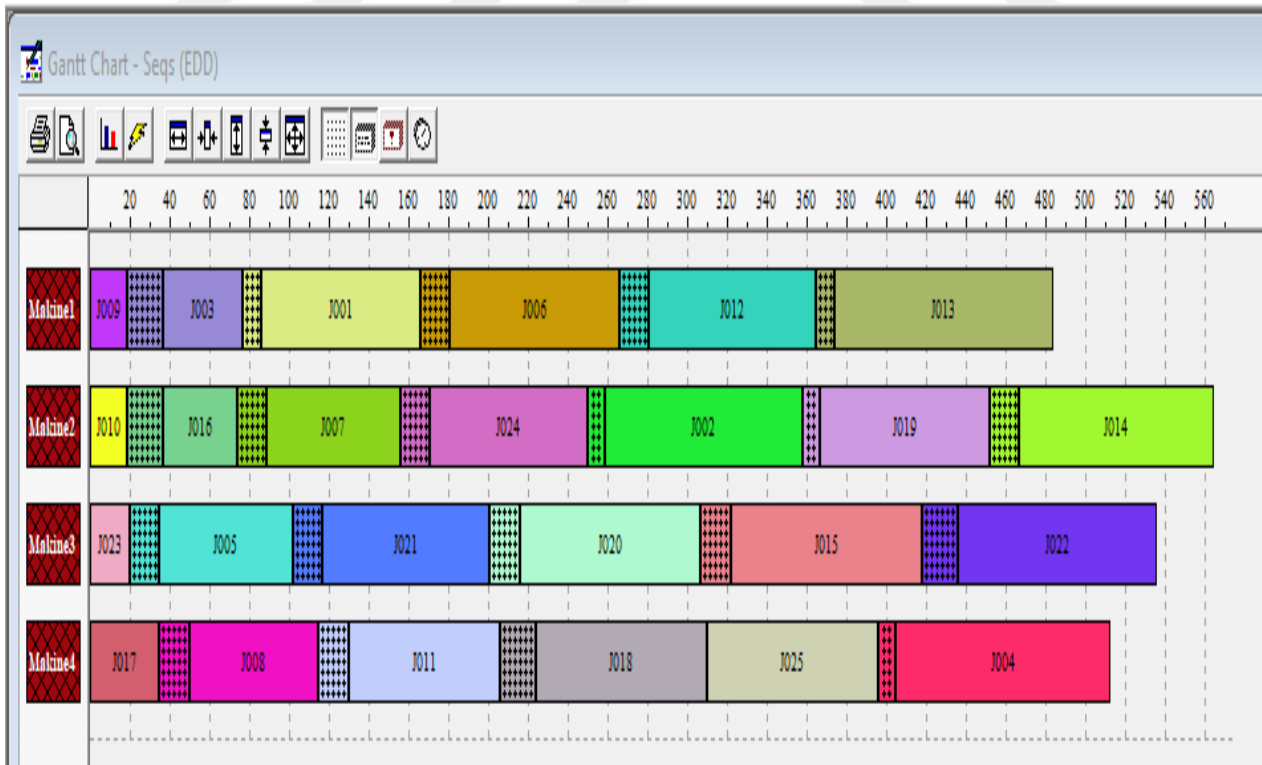
Şekil 6.54 25_3 Gantt şeması gösterimi

25 iş 3 makine ortamı için tasarlanan sıra bağımlı hazırlık süreli problemin Gantt şeması yukarıdaki gibidir. LEKİN çözüm sonuçlarına göre işler; birinci makineye sırasıyla 9-17-8-1-24-20-25-13-14, ikinci makine 10-3-5-11-6-2-15-4, üçüncü makine 23-16-7-21-18-12-19-22 şeklindedir. İkinci makineye atanan ikinci işten on beşinci işe geçiş esnasında hazırlık süresine ihtiyaç duyulmadığı görülmektedir, Bu işler dışında kalan işler için ise hazırlık süresi söz konusudur.



Şekil 6.55 25_3 EDD çözüm ekranı

25 iş 3 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 4619 dakikadır ve geciken iş sayısı 17'dir.



Şekil 6.56 25_4 Gantt şeması gösterimi

25 iş 4 makine ortamı için tasarlanan sıra bağımlı hazırlık süreli problemin Gantt şeması yukarıdaki gibidir. LEKİN çözüm sonuçlarına göre işler; birinci makineye sırasıyla 9-3-1-6-12-13, ikinci makine 10-16-7-24-2-19-14, üçüncü makine 23-5-21-20-15-22 ve dördüncü makine 17-8-11-18-25-4 şeklindedir. Dördüncü makineye atanan on sekizinci işten yirmi beşinci işe geçiş esnasında hazırlık süresine ihtiyaç duyulmadığı görülmektedir, Bu işler dışında kalan işler için ise hazırlık süresi söz konusudur.

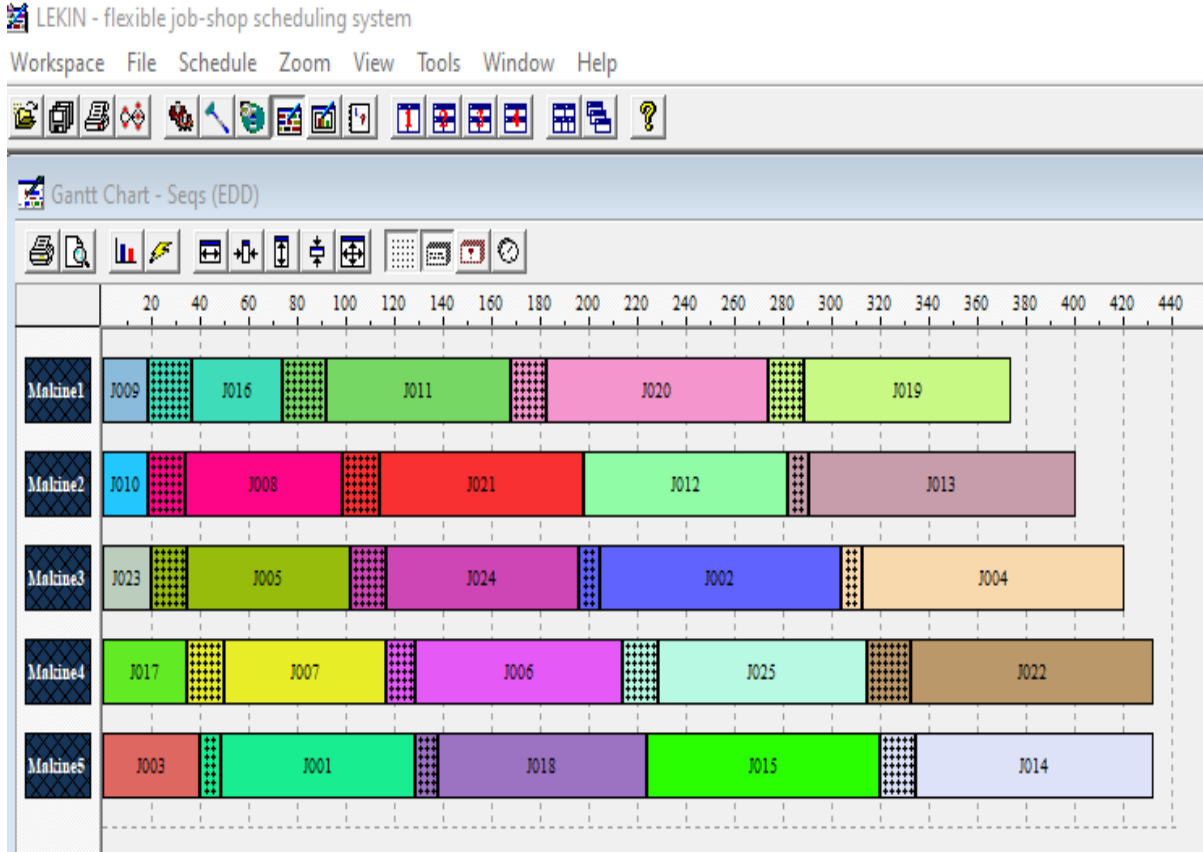
The screenshot shows a window titled 'Shop Performance' with a close button (X). Inside, there is a section labeled 'EDD' containing a table of performance metrics. The 'Running Time' is set to 1. The other metrics are as follows:

Metric	Value
Running Time	1
Makespan	565
max. Tardiness	325
Number of Late jobs	15
Total Flow Time	6410
Total Tardiness	2669
Total Weighted Flow Time	6410
Total Weighted Tardiness	2669

At the bottom of the dialog, there are two buttons: 'Close' and 'Help'.

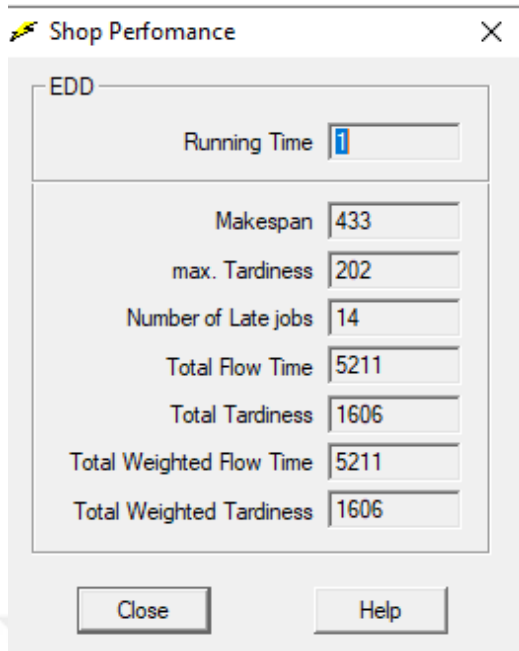
Şekil 6.57 25_4 EDD çözüm ekranı

25 iş 4 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 2669 dakikadır ve geciken iş sayısı 15'dir.



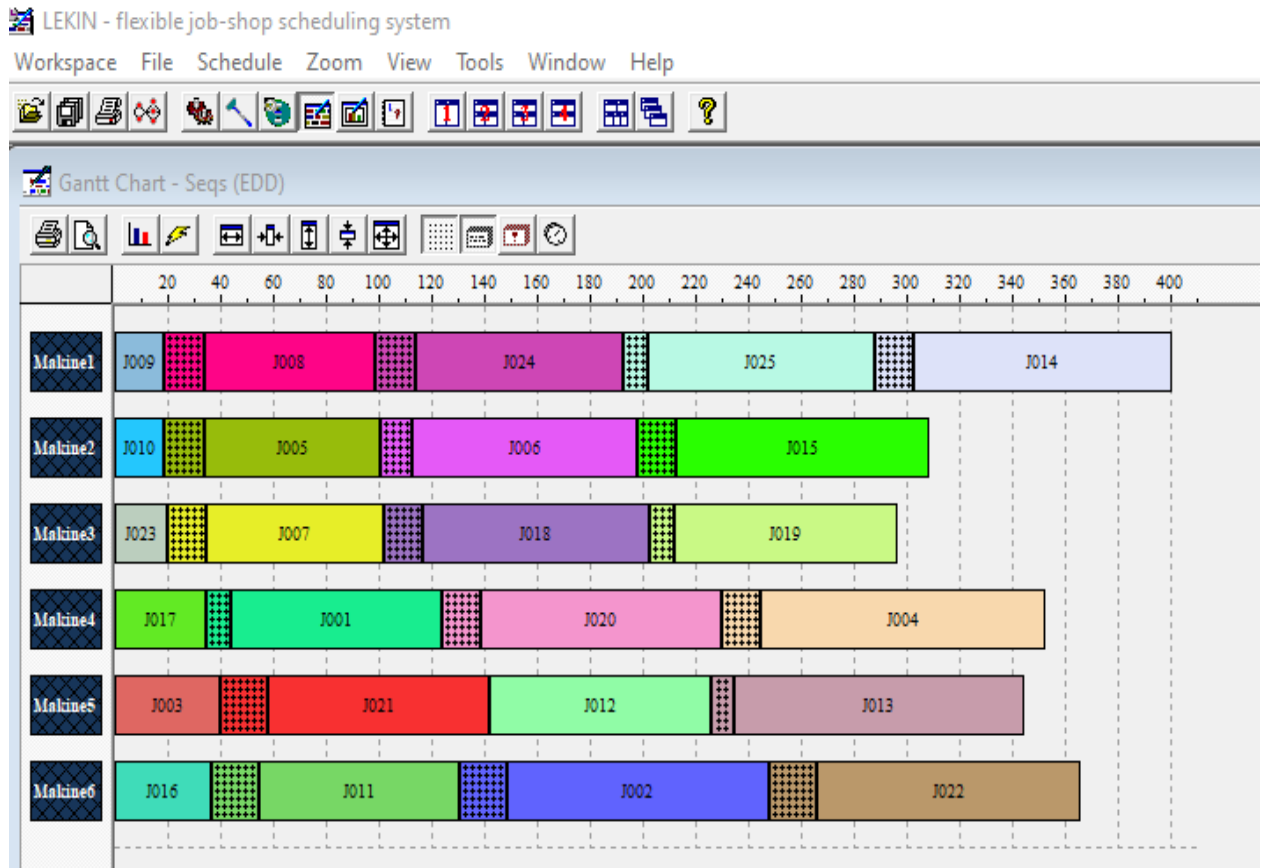
Şekil 6.58 25_5 Gantt şeması gösterimi

25 iş 5 makine ile oluşturulan deney tasarımının LEKİN sonuçlarına göre işlerin dizilimi; birinci makinede 9-16-11-20-19, ikinci makinede 10-8-21-12-13, üçüncü makinede 23-5-24-2-4, dördüncü makinede 17-7-6-25-22, beşinci makinede 3-1-18-15-14 şeklindedir. İkinci makineye atanan yirmi birinci işten on ikinci işe ve beşinci makineye atanan on sekizinci işten on beşinci işe geçiş esnasında hazırlık süresine ihtiyaç duyulmadığı görülmektedir, Bu işler dışında kalan işler için ise hazırlık süresi söz konusudur.



Şekil 6.59 25_5 EDD çözüm ekranı

25 iş 5 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 1606 dakikadır ve geciken iş sayısı 14'tür.



Şekil 6.60 25_6 Gantt şeması gösterimi

25 iş 6 makine ile oluşturulan deney tasarımının LEKİN sonuçlarına göre işlerin dizilimi; birinci makinede 9-8-24-25-14, ikinci makinede 10-5-6-15, üçüncü makinede 23-7-18-19, dördüncü makinede 17-1-20-4, beşinci makinede 3-21-12-13 ve altıncı makinede 16-11-2-22 şeklindedir. Beşinci makineye atanan yirmi birinci işten on ikinci işe geçiş esnasında hazırlık süresine ihtiyaç duyulmadığı görülmektedir, Bu işler dışında kalan işler için ise hazırlık süresi söz konusudur.

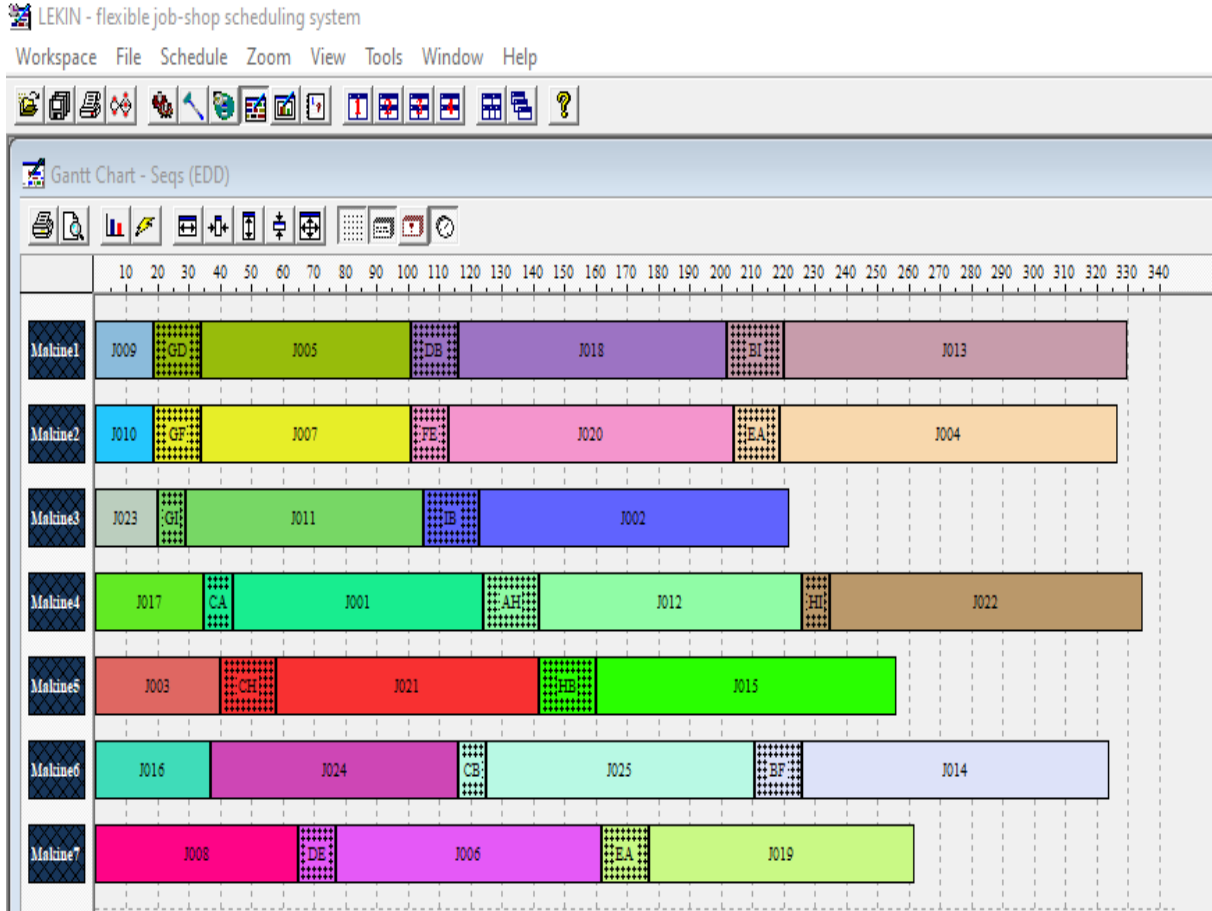
The screenshot shows a window titled 'Shop Performance' with a close button (X). Inside, there is a section labeled 'EDD' with a 'Running Time' field showing '1'. Below this is a table of performance metrics:

Makespan	401
max. Tardiness	161
Number of Late jobs	13
Total Flow Time	4526
Total Tardiness	1050
Total Weighted Flow Time	4526
Total Weighted Tardiness	1050

At the bottom of the window are two buttons: 'Close' and 'Help'.

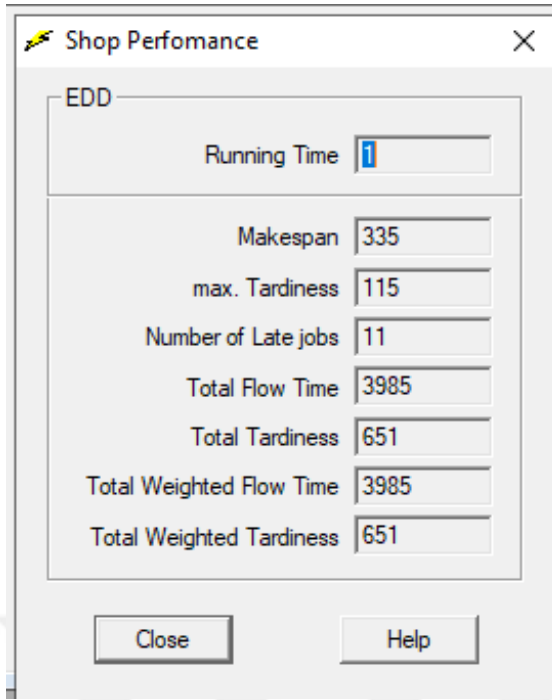
Şekil 6.61 25_6 EDD çözüm ekranı

25 iş 6 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 1050 dakikadır ve geciken iş sayısı 13'tür



Şekil 6.62 25_7 Gantt şeması gösterimi

25 iş 7 makine ile oluşturulan deney tasarımının LEKİN sonuçlarına göre işlerin dizilimi; birinci makinede 9-5-18-13, ikinci makinede 10-7-20-4, üçüncü makinede 23-11-2, dördüncü makinede 17-1-12-22, beşinci makinede 3-21-15, altıncı makinede 16-24-25-14 ve yedinci makinede 8-6-19 şeklindedir. Tüm iş geçişlerinde hazırlık süresi olduğu görülmektedir.

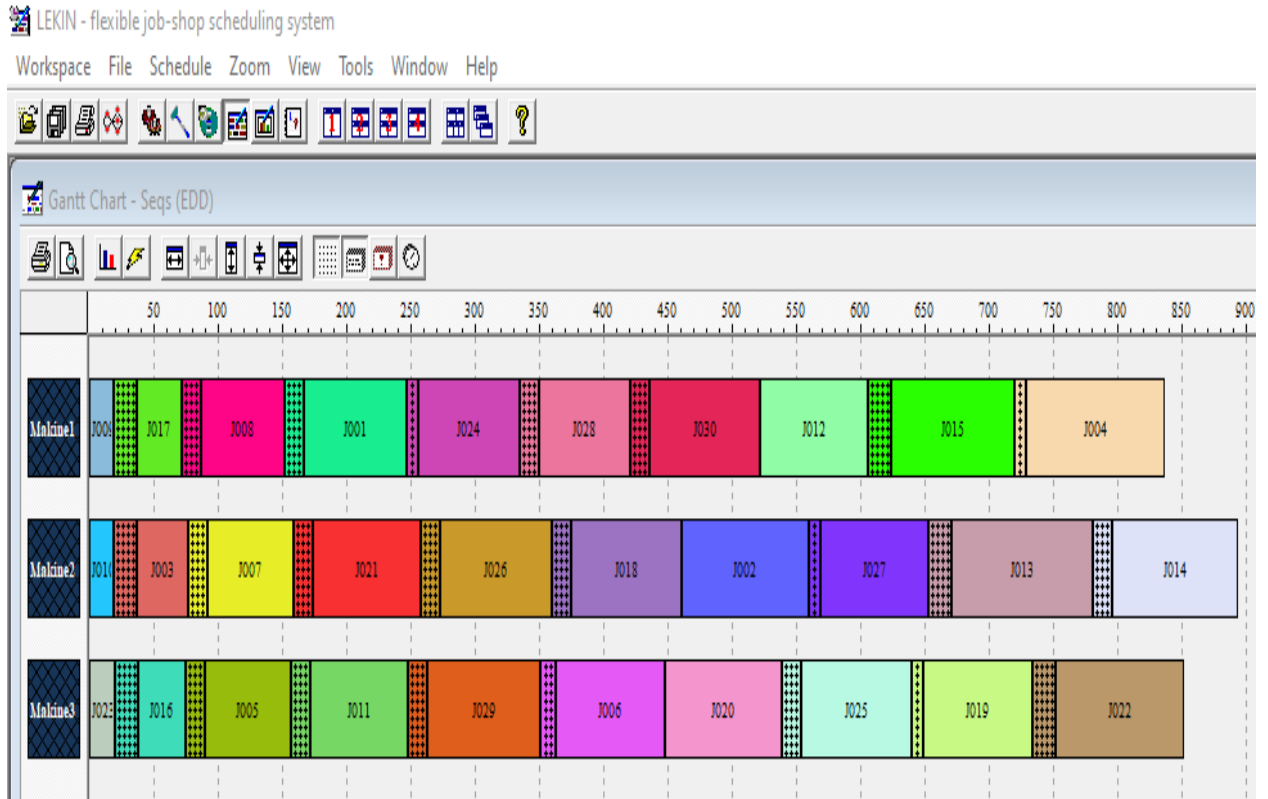


Şekil 6.63 25_7 EDD çözüm ekranı

25 iş 7 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 651 dakikadır ve geciken iş sayısı 11'dir.

Lekin Deney Tasarım Grubu-5

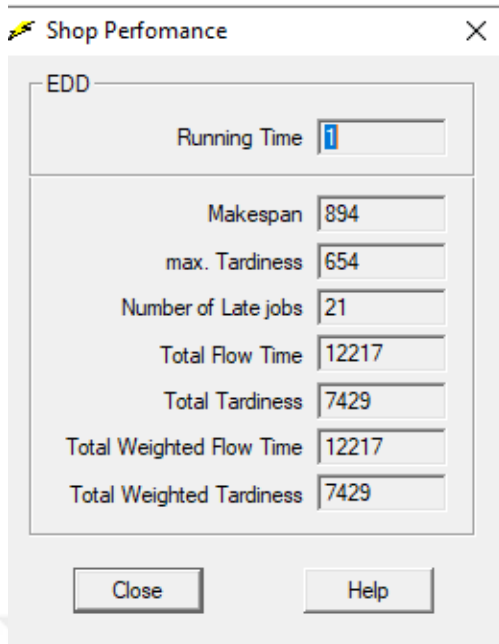
30 iş için türetilen problemlerin farklı boyutlardaki makine sistemlerindeki $(t=1, t=2, t=3, t=4, t=5, t=6$ ve $t=7)$ EDD sonuçlarına ve Gantt şemasına yer verilmiştir.



Şekil 6.64 30_3 Gantt şeması gösterimi

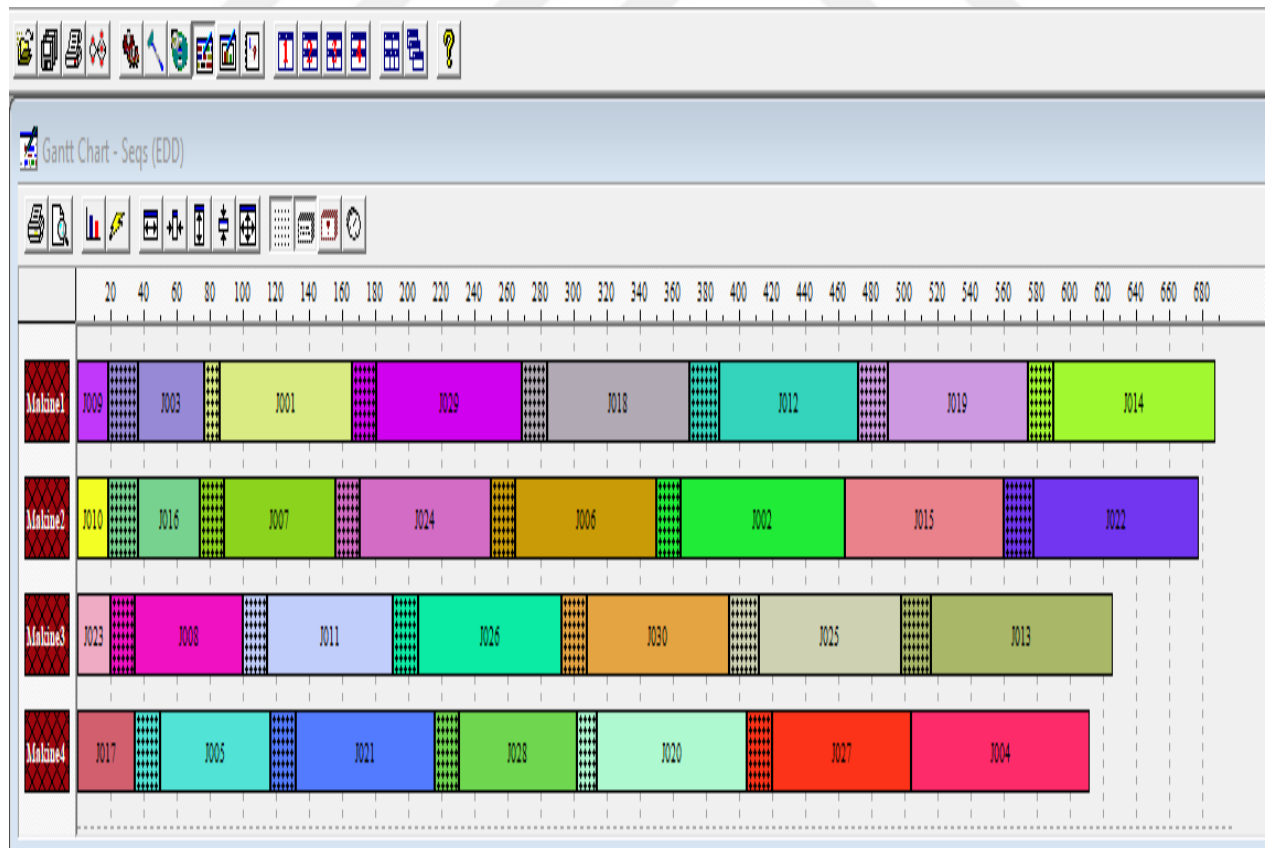
30 iş 3 makine ile oluşturulan deney tasarımının LEKİN sonuçlarına göre işlerin dizilimi; birinci makinede 9-17-8-1-24-28-30-12-15-4 ikinci makinede 10-3-7-21-26-18-2-27-13-14, üçüncü makinede 23-16-5-11-29-6-20-25-19-22 şeklindedir.

Birinci makineye atanan otuzuncu işten on ikinci işe, ikinci makineye atanan on sekizinci işten ikinci işe ve üçüncü makineye atanan altıncı işten yirminci işe geçiş esnasında hazırlık süresine ihtiyaç duyulmadığı görülmektedir, Bu işler dışında kalan işler için ise hazırlık süresi söz konusudur.



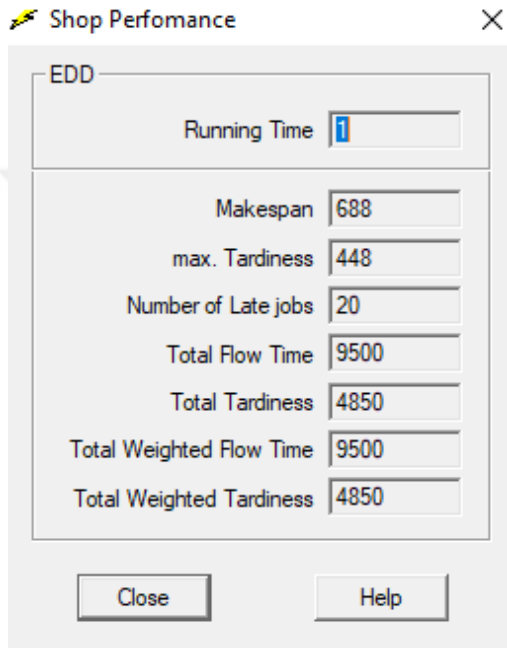
Şekil 6.65 30_3 EDD çözüm ekranı

30 iş 3 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 7429 dakikadır ve geciken iş sayısı 21'dir.



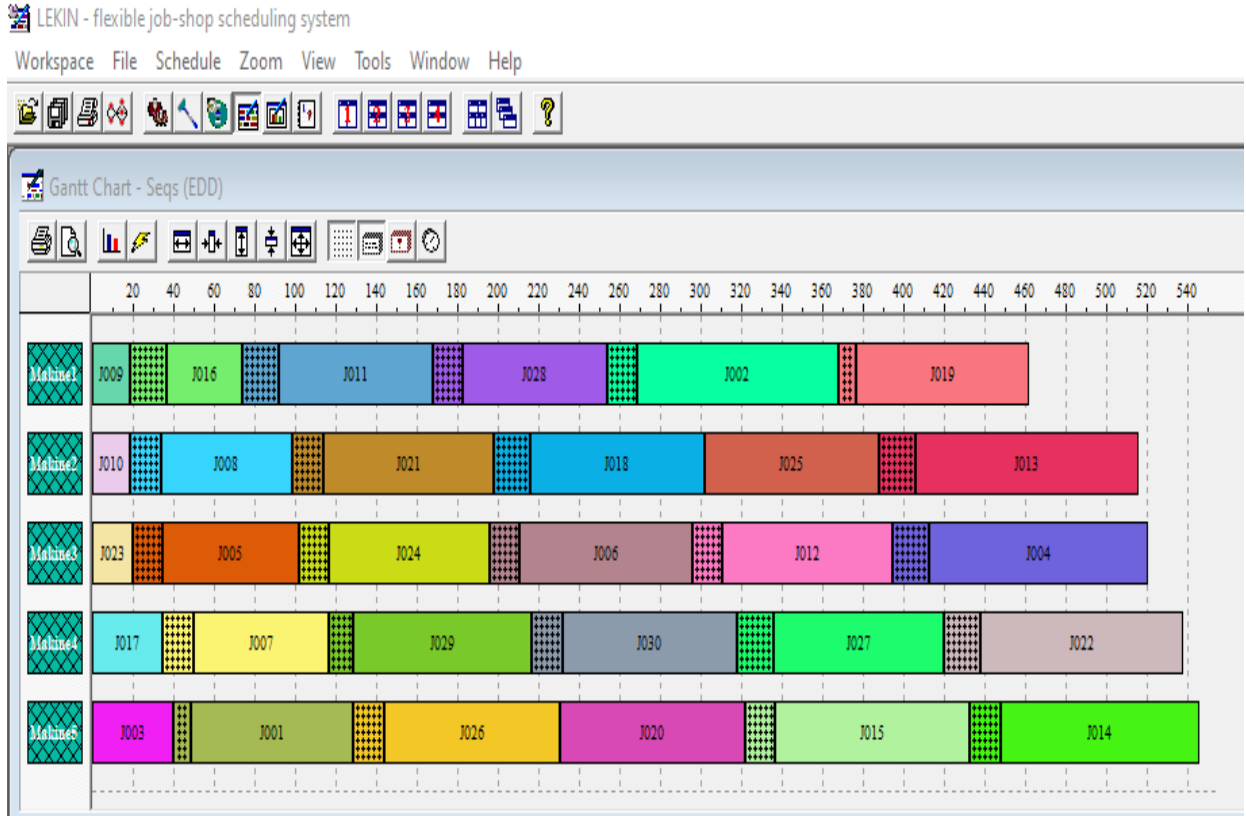
Şekil 6.66 30_4 Gantt şeması gösterimi

30 iş 4 makine ile oluşturulan deney tasarımı sonuçlarına göre işler sırasıyla; birinci makineye 9-3-1-29-18-12-19-14 konumlu işler, ikinci makineye 10-16-7-24-6-2-15-22 konumlu işler, üçüncü makineye 23-8-11-26-30-25-13 konumlu işler ve dördüncü makineye 17-5-21-28-20-27-4 konumlu işler atanmıştır. Ayrıca ikinci makineye atanan ikinci işten on beşinci işe ve dördüncü makineye atanan yirmi yedinci işten dördüncü işe geçiş esnasında hazırlık süresine ihtiyaç duyulmadığı görülmektedir, Bu işler dışında kalan işler için ise hazırlık süresi söz konusudur.



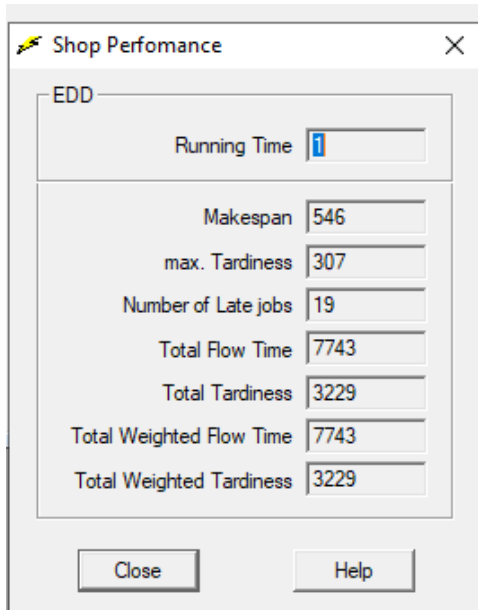
Şekil 6.67 30_4 EDD çözüm ekranı

30 iş 4 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 4850 dakikadır ve geciken iş sayısı 20'dir.



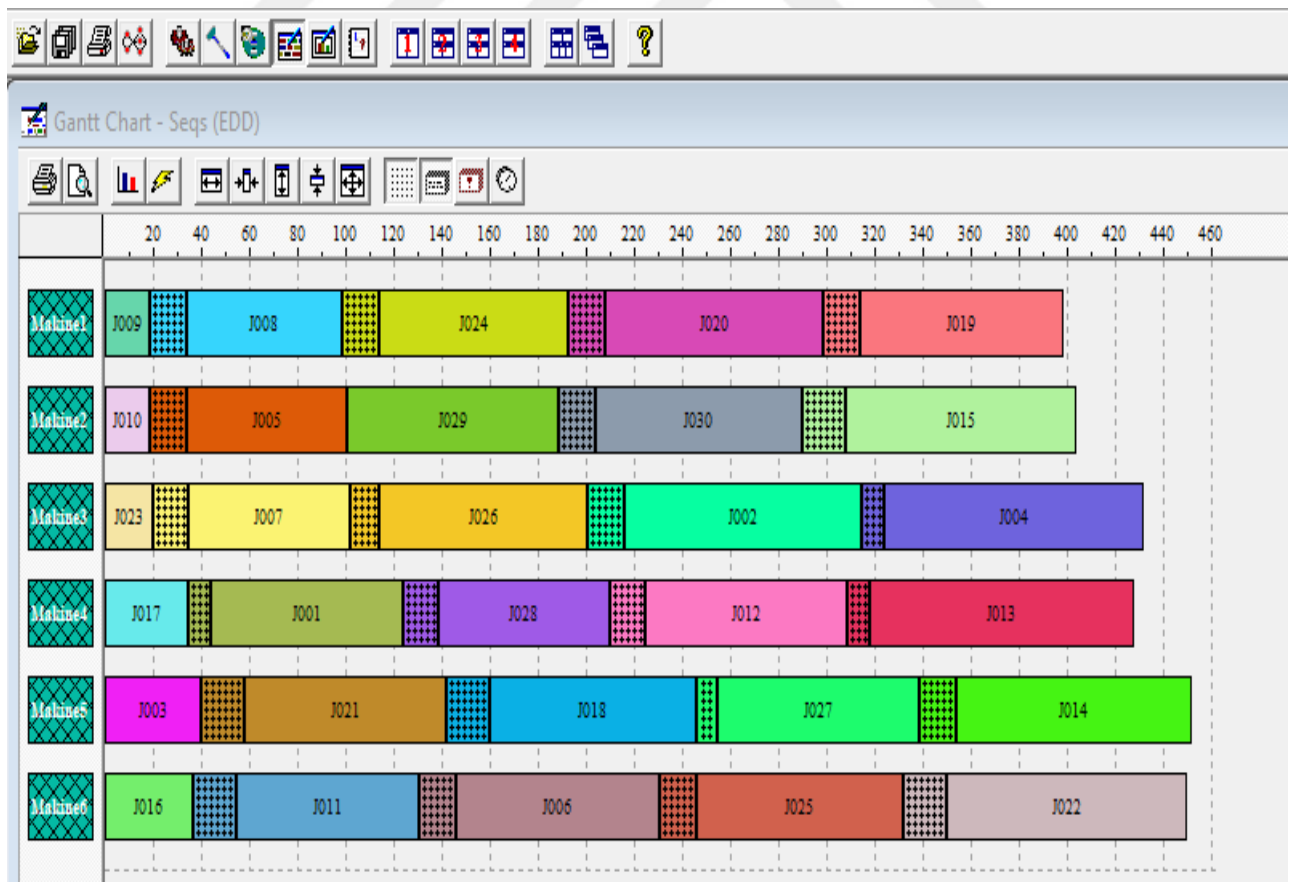
Şekil 6.68 30_5 Gantt şeması gösterimi

30 iş 5 makine ile oluşturulan deney tasarımı sonuçlarına göre işler sırasıyla; birinci makineye 9-16-11-28-2-19 konumlu işler, ikinci makineye 10-8-21-18-25-13 konumlu işler, üçüncü makineye 23-5-24-6-12-4 konumlu işler, dördüncü makineye 17-7-29-30-27-22 ve beşinci makineye 3-1-26-20-15-14 konumlu işler atanmıştır. Ayrıca ikinci makineye atanan on sekizinci işten yirmi beşinci işe ve beşinci makineye atanan yirmi altıncı işten yirminci işe geçiş esnasında hazırlık süresine ihtiyaç duyulmadığı görülmektedir, Bu işler dışında kalan işler için ise hazırlık süresi söz konusudur.



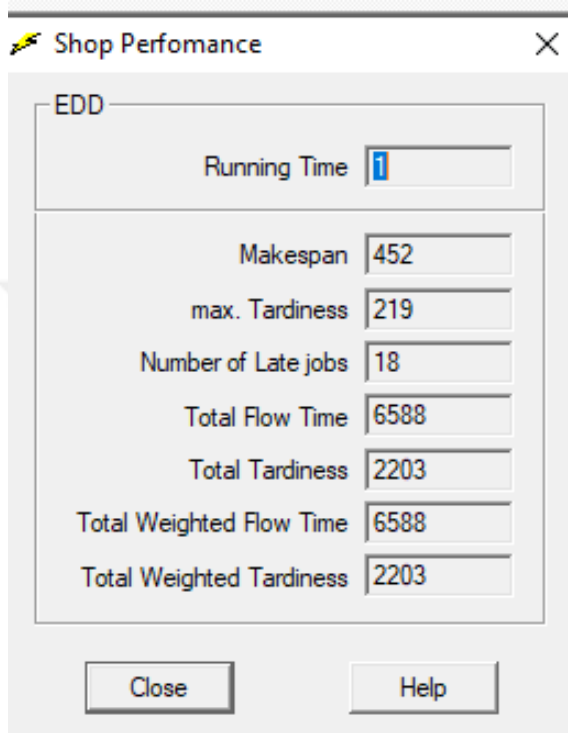
Şekil 6.69 30_5 EDD çözüm ekranı

30 iş 5 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri ($\sum_t \sum_m s_{tm}^+$) 3229 dakikadır ve geciken iş sayısı 19'dur.



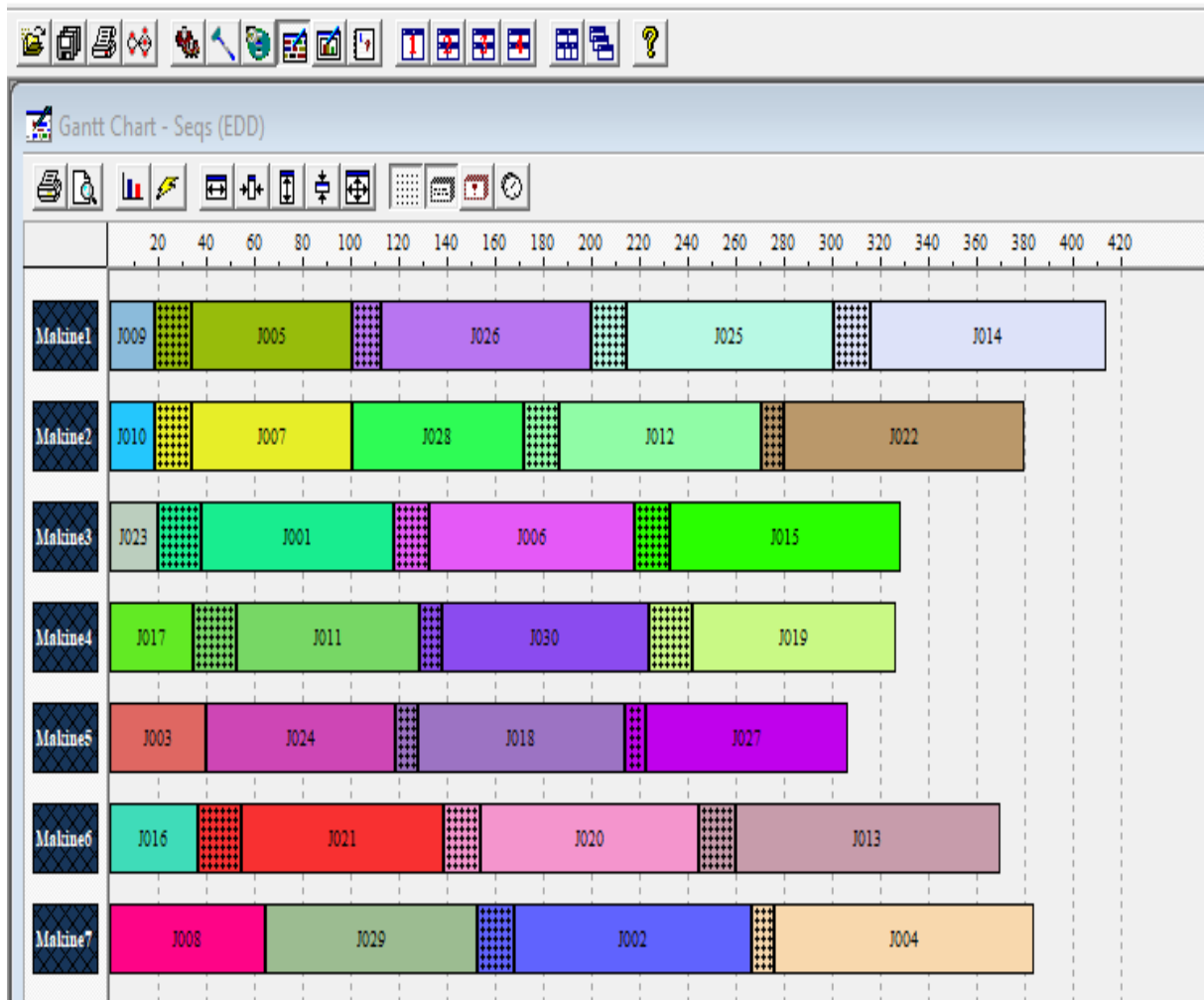
Şekil 6.70 30_6 Gantt şeması gösterimi

30 iş 6 makine ile oluşturulan deney tasarımı sonuçlarına göre işler sırasıyla; birinci makineye 9-8-24-20-19 konumlu işler, ikinci makineye 10-5-29-30-15 konumlu işler, üçüncü makineye 23-7-26-2-4 konumlu işler, dördüncü makineye 17-1-2812-13, beşinci makineye 3-21-18-27-14 ve altıncı makineye 16-11-6-25-22 konumlu işler dizilmiştir.



Şekil 6.71 30_6 EDD çözüm ekranı

30 iş 6 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 2203 dakikadır ve geciken iş sayısı 18'dur.



Şekil 6.72 30_7 Gantt şeması gösterimi

30 iş 7 makine ortamı için tasarlanan sıra bağımlı hazırlık süreli problemin Gantt şeması yukarıdaki gibidir. LEKİN çözüm sonuçlarına göre işler; birinci makineye sırasıyla 9-5-26-25-14 ikinci makineye 10-7-28-12-22, üçüncü makineye 23-1-6-15 dördüncü makineye 17-11-30-19, beşinci makineye 3-24-18-27, altıncı makineye 16-21-20-13 ve yedinci makineye 8-29-2-4 şeklinde konumlandırılmıştır.

Shop Performance

EDD

Running Time

Makespan

max. Tardiness

Number of Late jobs

Total Flow Time

Total Tardiness

Total Weighted Flow Time

Total Weighted Tardiness

Close Help

Şekil 6.73 30_7 EDD çözüm ekranı

30 iş 7 makine ortamının çözüm sonuçlarına göre amaç fonksiyon değeri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ 1466 dakikadır ve geciken iş sayısı 15'dur.

Çizelge 6.36. Gams ve Lekin amaç fonksiyonu karşılaştırması

Konum_Makine	Gams Amaç Fonksiyon Değeri	Lekin(EDD) Amaç Fonksiyon Değeri	Lekin(LPT) Amaç Fonksiyon Değeri	Lekin(SPT) Amaç Fonksiyon Değeri
10_3	971	1580	5070	1580
10_4	0	260	2260	240
10_5	0	0	770	0
10_6	0	0	190	0
10_7	0	0	0	0
15_3	8613	10360	20710	10020
15_4	3664	4710	12420	4450
15_5	1238	1750	6790	2130
15_6	0	100	4440	600
15_7	0	0	2830	0
20_3	19471	46190	42780	22850
20_4	-	13280	26210	12420
20_5	6241	7200	16570	6860
20_6	3018	4380	11030	3960
20_7	1079	1880	7140	1680

25_3	-	46190	72730	38720
25_4	-	26690	48060	24840
25_5	14212	16060	32840	15160
25_6	9173	10500	22430	9260
25_7	-	6510	16810	6110
30_3	-	74290	112430	66020
30_4	-	48500	75280	43770
30_5	-	32290	54540	29160
30_6	-	22030	39760	19400
30_7	-	14660	28940	13770

Tasarlanan problemlerin LEKİN yazılımında ve GAMS'te oluşturulan algoritma sonucunda ortaya çıkan amaç fonksiyonu değerleri $(\sum_t \sum_m s_{tm}^+)$ kıyaslanmıştır ve sonuçlar Çizelge 6.36'da yer verilmiştir.

Tabloya bakıldığında EDD, LPT ve SPT öncelik kuralları amaç fonksiyonu değerlerinin sonuçları kıyaslandığında en iyi sonuçları SPT öncelik kuralının verdiği görülmektedir.

GAMS çözücüsünün ve LEKİN SPT öncelik kuralının ilk tasarım grubu olan 10 iş ve $t=3,4,5,6,7$ makine ortamında 10_3 boyutlu problemde GAMS amaç fonksiyonu değeri olarak 971 dakika sonucunu verirken SPT öncelik kurallarına göre 1580 dakika sonucunu vermiştir. 10_4 boyutlu problemde GAMS ile optimal çözüme ulaşılmış ve 0 değeri elde edilmiştir. LEKİN'de bu değer SPT kuralına göre 240 dakika olarak hesaplanmıştır. 10_5, 10_6 ve 10_7 boyutlu problemlerde her iki yöntemle de optimal çözüme ulaşılarak 0 değeri elde edildiği görülmektedir.

İkinci deney tasarım grubu olan 15 iş ve $t=3,4,5,6,7$ makine ortamlarından 15_3 boyutlu problemin GAMS sonucuna göre amaç fonksiyon değeri, 8613 dakika iken LEKİN SPT kuralına göre 10020 dakikadır. 15_4 boyutlu problemde problemin GAMS sonucuna göre amaç fonksiyon değeri 3664 iken LEKİN SPT sonucuna göre 4450 dakikadır. 15_5 boyutlu problemde problemin GAMS sonucuna göre amaç fonksiyon değeri 1238 iken LEKİN SPT sonucuna göre 2130 dakikadır. Fakat EDD kuralı SPT'ye göre daha iyi sonuç vererek 1750 dakika olarak hesaplanmıştır. 15_6 boyutlu problemin GAMS sonucuna göre amaç fonksiyon değeri en küçüklenerek 0 değerini alırken LEKİN SPT yazılımı sonucuna göre 600 dakika, EDD kuralına göre 100 dakika olarak hesaplanmıştır. 15_7 boyutlu tasarımda ise her iki yöntemle de optimal sonuca ulaşarak 0 değeri elde edilmiştir.

Üçüncü deney tasarım grubu 20 iş ve $t=3,4,5,6,7$ makine ortamlarından 20_3 boyutlu problemin GAMS sonucuna göre amaç fonksiyon değeri 19471 dakika hesaplanırken LEKİN SPT kuralı sonucuna göre 22850 dakika olarak hesaplanmıştır. 20_4 boyutlu problem sonuçlarına göre GAMS belirlenen süre dahilinde herhangi bir çözüm sunamamışken LEKİN SPT, 12420 dakika sonucunu vermiştir. 20_5 boyutlu tasarımın GAMS amaç fonksiyonu sonucu 6241 dakika iken LEKİN SPT öncelik kuralı sonucu 6860 dakikadır. 20_6 boyutlu problemin GAMS sonucuna göre amaç fonksiyon değeri 3018 iken LEKİN yazılımı SPT kuralı sonucuna göre 3960 dakika olarak hesaplanmıştır. 20_7 boyutlu problem sonuçlarına göre GAMS 1079 dakika sonucuna ulaşırken LEKİN SPT kuralı ile 1680 dakika sonucuna ulaşmıştır.

Dördüncü deney tasarım grubu olan 25 iş ve $t=3,4,5,6,7$ makine ortamlarından 25_3 boyutlu problemde GAMS ile bir çözüme ulaşılamazken LEKİN SPT kuralı 38720 dakika değerini vermiştir. Aynı şekilde 25_4 boyutlu problemde de GAMS ile bir çözüme ulaşılamazken LEKİN SPT 24840 dakika değerini vermiştir. 25_5 boyutlu tasarımın GAMS sonucuna göre amaç fonksiyon değeri 14212 dakika hesaplanırken LEKİN'de SPT kuralına göre 15160 dakika olarak hesaplanmıştır. 25_6 boyutlu tasarımın GAMS sonucu 9173 dakika iken LEKİN SPT sonucu 9260 dakikadır. 25_7 boyutlu sistemde ise GAMS çözüm sonucundan herhangi bir veri elde edilemezken LEKİN SPT kuralı ile 6110 dakika sonucuna ulaşılmıştır.

Beşinci ve son tasarım grubu olan 30 iş $t=3,4,5,6,7$ makine ortamlarından 30_3, 30_4, 30_5, 30_6 ve 30_7 boyutlu problemlerin tamamında GAMS'te oluşturulan algoritma ile bir sonuca erişilememiş olup LEKİN SPT kuralı sonuçları ise sırasıyla 66020 dakika, 43770 dakika, 29160 dakika, 19400 dakika ve 13770 dakika olarak bulunmuştur.

Lekin programında SPT ve EDD öncelik kurallarına başvurularak elde edilen çözüm sonuçlarının, GAMS çözücü ile elde edilen çözüm sonuçlarından ne kadar uzak kaldığına bakıldığında; ilk deney tasarım grubunda SPT kuralı ortalama olarak % 60,54, EDD kuralı % 64,54, ikinci deney tasarım grubunda SPT kuralı ortalama % 141,97, EDD kuralı % 38,04, üçüncü deney tasarım grubunda SPT kuralı ortalama % 28,55, EDD kuralı % 67,99, dördüncü deney tasarım grubunda SPT kuralı ortalama % 3,81, EDD kuralı % 13,73 şeklindedir. İkinci deney tasarım grubu olan 15 işin söz konusu olduğu sistemde EDD kuralı GAMS sonuçlarına daha yakınken diğer tüm sistemlerde SPT kuralı, GAMS sonuçlarına daha yakındır. LPT kuralı ise diğer iki öncelik kuralına göre GAMS sonuçlarına çok daha uzak ve amaç fonksiyonu değerleri daha büyüktür.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makineli çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışmada işlem süresi, teslim zamanı ve hazırlık süresi gibi veriler, mevcut firmadan temin edilerek bu veriler ışığında en uygun sıralamanın oluşturulması hedeflenmiştir. Uygulamada konu alınan problemde, işlerin yarıda kesilmesine izin verilmemekte ve her işe ait belirli bir teslim süresinin olmasının yanı sıra hazırlık sürelerinin iş sırasına bağımlılığı olduğu bilinmektedir.

Ele alınan problem için toplam gecikme süresinin en aza indirilmesini amaçlayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model, çeşitli işler ve çeşitli makineler aracılığıyla çözülüp sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Geliştirilen matematiksel model 10 iş, 15 iş, 20 iş ve 25 iş boyutundaki problemlerde, 3600 ve 10800 saniyede optimal ya da tam sayılı bir çözüm ortaya koyabiliyorken 30 iş ve daha büyük boyutlu problemler için makul sürelerde çözüm sunamamıştır.

Gerçek hayatta ve söz konusu işletmede çok daha büyük boyutlu problemlere çok daha kısa sürede yanıt almak isteneceği için öncelik kuralları ve sezgisel yöntemlere çözüm olan LEKİN yazılımı kullanılmıştır. LEKİN, matematiksel model çözümünde kullanılan GAMS'te olduğu kadar optimum sonuçlar vermese de kısa sürelerde dönüş sağlayacağı için büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılması uygun görülmüştür. Bu yazılımda SPT, EDD ve LPT öncelik kuralları kullanılarak amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmıştır ve amaç fonksiyonu değerleri GAMS'in sonuçlandığı verilerle karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması, paralel makineli çizelgeleme problemleri için; gerçek veriler kullanılarak özgün bir çalışma sunmasından dolayı ve sıra bağımlı hazırlık süreli çalışma örneklerinin literatürde sınırlı sayıda olmasından dolayı, bu alan için önemli bir çalışma olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca belirtilen bu noktalar nezdinde çalışmanın, benzeri problemlerin çözüm süreçlerine katkı sağlayabileceği ve bu yolda geliştirilebilecek uygulamalara referans olabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Abedi M, Chiong R, Noman N, Zhang R. A,2017, Hybrid particle swarm optimisation approach for energy-efficient single machine scheduling with cumulative deterioration and multiple maintenances, Computational intelligence (SSCI) symposium series on. IEEE ,1–8.

Akkocaoğlu, H., 2014, A new customer order scheduling problem on a single-machine with job setup times, Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akyol,E.,Saraç,T.,2012,Plastik parçalar üreten bir fabrikanın montaj hatlarının çizelgelenmesi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*,23,28-41

Allahverdi, A., Gupta, J. N., Aldowaisan,1999, T. A review of scheduling research involving setup considerations. *OMEGA The Int. Journal of Management Sciences*.27,219-239

Altunay, H., Eren,T., 2018, Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması. Pamukkale Üniversitesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 55-70.

Anghinolfi, D., Paolucci, M., 2007, Parallel machine total tardiness scheduling with a new hybrid metaheuristic approach, *Computers & Operations Research*, 34, 3471-3490.

Armentano, V.A. Filho, M.F.F., 2007, Minimizing total tardiness in parallel machine scheduling with setup times: An adaptive memory-based GRASP approach. *European Journal of Operational Research* 183: 100-114.

Atmaca,E.,Karayel,S.D.,Akın,Ö.,2017,Bir içecek firmasında tip dönüşüm sürelerinin kısaltılmasına yönelik uygulama, *The International New Issues In Social Sciences*, 5, 283-294.

Baker, K.R., Schrage, L. E.,1978, Finding an optimal sequencing by dynamic programming: an extension to precedence-related tasks, *Operations Research*, 26(1).

Baker,K.R.,1974, Introduction to Sequencing and Scheduling,John Wiley and Sons,NewYork,305.

Bard, J.F.,Binici,C.,DeSilva, A.H., 2003, Staff scheduling at the united states postal service, *Computer and Operations Research*, 30, 745–771.

Ben-Yehoshua, Y., Mosheiov, G., 2016, A Single machine scheduling problem to minimize total Early work, *computers and operations research*, 73, 115-118.

Bilge, U., Kirac, F., Kurtulan, M., Pekgun, P.A.,2004,Tabu search algorithm for parallel machine total tardiness problem. *Computers and Operations Research*. 31,397-414.

Ceylan Z., Karan R.E., Bakırcı Ç., Sabuncu S., 2019, Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Tek Makine Çizelgeleme Problemi: Beyaz Eşya Sektöründe Bir Uygulama, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1),14-21

Che, A.,Wu, X.,Peng,J.,Yan, P.,2017, Energy-efficient bi-objective single-machine scheduling with power-down mechanism. *Computers & Operations Research*, 85, 172-183.

Chen, J.F., 2009, Scheduling on unrelated parallel machines with sequence-and machine dependent setup times and due-date constraints, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44, 1204-1212.

Crosby, L. B.,1984, The just-in-time manufacturing processes: Control of quality and Quantity, *Production and Inventory Management*, 4th Quarter, 21–33.

Cui, W.W.,Lu, Z.,2017,Minimizing the makespan on a single machine with flexible maintenances and jobs' release dates. *Computers & Operations Research*, 80, 11–22.

Eminoğlu,S., Gezer,N., Kadı,F., İnkaya,T., Yağmahan,B.,2015, Bir Otomotiv Yan Sanayi Firması İçin Parti Büyüklüğü Belirleme ve Çizelgeleme Sisteminin Geliştirilmesi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi* , 26(4), 5-20.

Eren T. ve Güner E., 2002, Tek ve paralel makineli problemlerde çok ölçütlü çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*,17(4),37-69.

French, S.,1982, Sequence and scheduling: an introduction to the mathematics of the job-shop, *John Wiley and Sons*, Toronto.

Heady, R.B., Zhu, Z., 1998, Minimizing the sum of job earliness and tardiness in a multimachine system, *International Journal of Production Research*, 36, 1619-1632.

Hermelin, D., Kubitza, J.M., Shabtay, D., Talmon, N., Woeginger, G., 2019, Scheduling two agents on a single machine: A parameterized analysis of NP-hard problems, *Omega*, 275-286

Herr, O., Goel, A., 2015, Minimising total tardiness for a single machine scheduling problem with family setups and resource constraints, *European Journal of Operational Research*, 248(1), 123- 135.

Huang, S., Chai, L., Zhang, X., 2009, Parallel dedicated machine scheduling problem with sequencedependent setups and a single server, *Computers & Industrial Engineering*, 58: 165-174.

James, R. J. W., Almada-Lobo, B., 2011., Single and Parallel Machine Capacitated Lotsizing and Scheduling: New Iterative MIP-based Neighborhood Search Heuristics, *Computers & Operations Research*, vol. 38 (12), p. 1816-1825.

Kan, A.H.G., 1976, *Machine Scheduling Problems*, Martinus Nijhoff, The Hague.

Kashan A.H, Karimi B, Jenabi M., A hybrid genetic heuristic for scheduling parallel batch processing machines with arbitrary job sizes, *Computers and Operations Research* 35(4), 1084-1098, 2008.

Kaya, S., 2013, A genetic algorithm for the resource constrained project scheduling problem having a single machine with sequence dependent setup times, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Kaya, S., Karaçizmeli, İ.H., 2018, Hazırlık zamanlı ortak teslim tarihli özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin çok amaçlı çözümü, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 205-213

Kolahan, F., Liang, M., 1998, An adaptive TS approach to JIT sequencing with variable processing times and sequencedependent setups, *European Journal of Operational Research*, 109, 142–159.

Lee, S.M., Asllani, A.A., 2004, Job scheduling with dual criteria and sequence-dependent setups: mathematical versus genetic programming, *Omega*, 32, 145–153.

Lenstra, J. K., 1985, *Sequencing by enumerative method*, second printing, Mathematisch Centrum.

Li, J., Burke, E.K., Curtois, T., Petrovic, S., Rong, Q., 2012, The falling tide algorithm: A new multi-objective approach for complex workforce scheduling, *Omega*, 40, 283–293.

Lin, B.M.T, Jeng, A.A.K., 2003, Parallel-machine batch scheduling to minimize the maximum lateness and the number of tardy jobs, *International Journal of Production Economics*, 91, 121-134.

Miltenburg, J., 1993, A theoretical framework for understanding why JIT reduces cost and cycle time and improves quality, *International Journal of Production Economics*, 30–31, 195–204.

Mönch, L., Balasubramanian, H., Fowler, J.W., Pfund, M.E., Heuristic scheduling of jobs on parallel batch machines with incompatible job families and unequal ready times, *Computers & Operations Research*, 32(11), 2731-2750, 2005.

Muştu, S., Eren, T., 2015, Geliş zamanlarının farklı olduğu öğrenme etkili tek makine çizelgelemede toplam gecikmenin çözümü. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 4(3), 11-34

Nazif, H., Lee, L.S., 2009, A genetic algorithm on single machine scheduling problem to minimise total weighted completion time, *European Journal of Scientific Research*, 35, 444-452.

Nelson, R.T., Sarin, R.K., Daniels, R.L., 1986, Scheduling with multiple performance measures: The one machine case, *Management Science*, 32, 4, 464-479.

Özbakır S.İ., 2011, A heuristic approach for the single machine scheduling tardiness problems, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özdemir M.H., 2007, Kısıtlandırılmış teslim tarihli ve sıraya bağımlı hazırlı süreli tek makine çizelgeleme problemlerinde erkenlik ve geçlik toplamının en küçüklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Pan, Q-K., L. Wang., 2012, Effective Heuristics for the blocking flowshop scheduling problem with makespan minimization". *Omega*, 40, 218-229.

Perez-Gonzalez, P., and Framinan, J. M., 2018, Single machine scheduling with periodic machine availability, *Computers and Industrial Engineering*.

Pinedo, M. L., 2008, *Scheduling Theory, Algorithms and Systems*, Third edition, Springer, New York, A.B.D.

Pinedo, M.L., Chao, X., 1999, *Operations scheduling with applications in manufacturing and services*, McGraw-Hill.

Rabadi, G., Mollaghasemi, M., Anagnostopoulos, G.C., 2004, A branch-and-bound algorithm for the early/ tardy machine scheduling problem with a common due-date and sequence dependent setup time, *Computers and Operations Research*, 31, 1727-1751.

Saad, A., Kawamura, K., Biswas, G., 1997, Performance evaluation of contract net-based heterarchical scheduling for flexible manufacturing systems, *International Journal of Automation and Soft Computing*, 3: 229-248.

Silva, C.A., Sousa, J.M., Runkler, T.A., Palm, R., Sa da Costa, J.M., vd., 2002, Scheduling in manufacturing systems using the ant colonies optimization algorithm, *Proceedings of 5th Portuguese conference on automatic control*.

Silver, E., Pyke, D., Peterson, R., 1998, Inventory management and production planning and scheduling, 3.rd edition, Wiley & Sons, New York.

Souissi, O., Benmansour, R., Artiba, A., 2016, An accelerated MIP model for the single machine scheduling with preventive maintenance. *IFAC-Papers OnLine*, 49(12), 1945-1949.

Şenbay, Ç., 2018, Bir iplik fabrikasında siparişlere hızlı cevap verebilecek bir çizelgeleme yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 10.

Tanyaş, M., Baskak M., 2017, Üretim planlama ve kontrol, 7. Baskı, İstanbul: İrfan Yayıncılık.

Tapkan, P.Z., Özbakır, L., Kulluk, S., Telcioğlu, B., 2018, Raylı sistemlerde görev çizelgeleme probleminin modellenmesi ve çözümü, Gazi Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık Fakültesi Dergisi.

Vollmann, T.E., Berry, W.L., Whybark, D.C., Jacobs F.R., 2005, Manufacturing planning and control for supply chain management, Mc Graw-Hill Book Companies Inc., New York.

White, C.H., Wilson, R.C., 1977, Sequence dependent setup times and job sequencing. *Int. J. Prod. Res.* 15, 191-202.

Yalaoui F., Chu C., 2002, Parallel machine scheduling to minimize total tardiness, *International Journal of Production Economics*, 76. 265-279.

<https://lekin.software.informer.com/3.3/>, [Ziyaret Tarihi: 01.07.2021]