

Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Tek Makine Çizelgeleme Problemi: Beyaz Eşya Sektöründe Bir Uygulama

Zeynep Ceylan^{1*}, Ruhiye Elif Karan¹, Çağla Bakırcı¹, Selin Sabuncu¹

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Samsun, Türkiye

* (zeynep.dokumaci@omu.edu.tr)

Özet –Bu çalışmada, beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın boyahane bölümünde sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Boyanacak her bir ürünün işlem süresi, teslim süresi ve renk değişiminden kaynaklanan hazırlık süresi dikkate alınarak en uygun sıralamanın oluşturulması hedeflenmiştir. Son işin tamamlanma zamanını ve toplam gecikme süresini en aza indirmeyi amaçlayan hedef programlama modeli geliştirilmiş ve GAMS/CPLEX programında çözülmüştür. Problem NP-zor yapıda olduğu için büyük boyutlu problemlerin çözümünde LEKIN programı kullanılarak, literatürde çokça kullanılan SPT (en kısa işlem süresi), LPT (en uzun işlem süresi), EDD (en erken teslim süresi) ve FCFS (ilk gelen ilk servis görür) gibi farklı öncelik kurallarına başvurulmuştur. Matematiksel modelden elde edilen sonuçlar; kurallardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Boyahane, çizelgeleme, tek makine, hedef programlama, sıra bağımlı hazırlık süresi

Single Machine Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times: An Application in White Goods Industry

Abstract –In this study, single machine scheduling problem with sequence dependent setup times was studied in the dyehouse department of a company operating in the white goods sector. It is aimed to provide the most suitable sequence by taking into consideration the setup times due to the processing time, delivery time and color change of each product to be painted. The goal programming model, which aims to minimize the makespan and total delay time, has been developed and solved in the GAMS/CPLEX optimization program. Because the problem is NP-hard, using the LEKIN program to solve large-scale problems, different priority rules such as; SPT (shortest processing time), LPT (longest processing time), EDD (earliest due date) and FCFS (first come first serve) which are widely used in literature have been applied. The results obtained from the mathematical model were compared and interpreted with the results obtained from the rules.

Keywords – Dyehouse, scheduling, single machine, goal programming, sequence dependent setup times

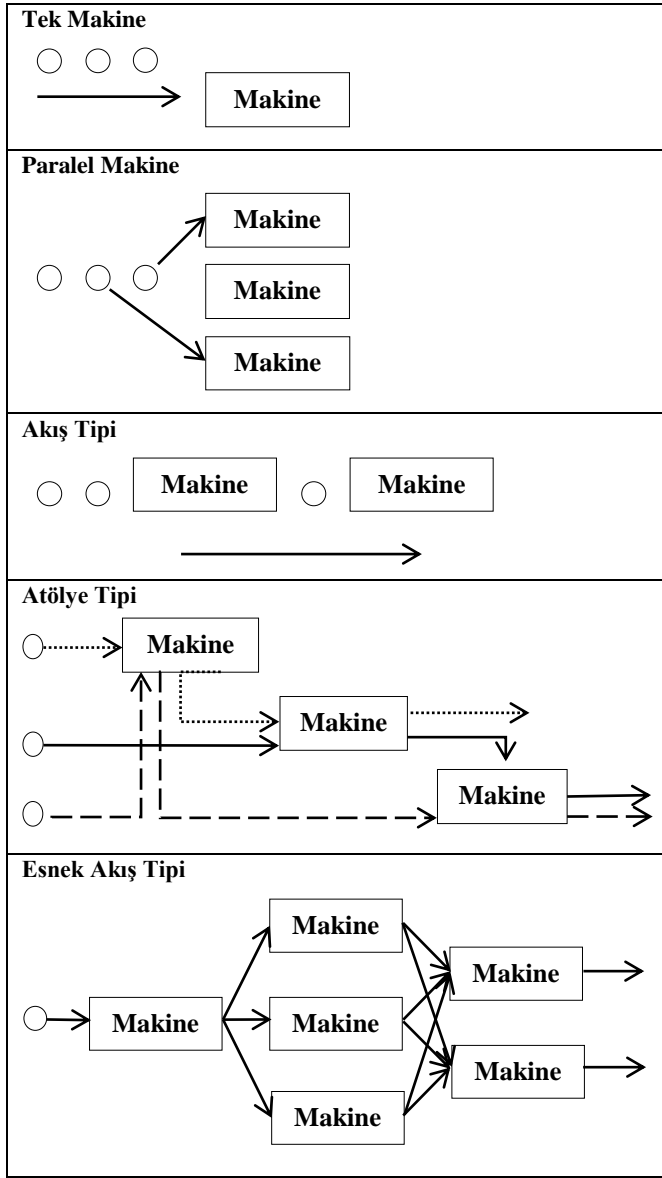
I. GİRİŞ

Çizelgeleme, birçok üretim ve hizmet endüstrisinde düzenli olarak kullanılan bir karar verme sürecidir [1]. Bu süreç kaynakların görevlere bir veya daha fazla önceden belirlenmiş kriterlere göre mümkün olan en iyi şekilde atanmasını ve sıralanmasını içerir [2]. Gerçek hayatta, birçok hizmet ve üretim sektöründe çizelgeleme problemleriyle karşılaşmak mümkündür. Sağlık sektöründe, personel çizelgelemenin bir alt konusu olan hemşire çizelgeleme problemi son dönemlerde popüler hale gelmiştir [3]. Ulaşım sektöründe, şehir içi toplu taşımacılıkta raylı sistemlerin kullanımının gün geçtikçe artması ile raylı sistemlerde görev ve makinist çizelgeleme problemleri üzerine yapılan çalışmaların önem kazandığı görülmektedir [4]. Eğitim sektöründe ise özellikle idareciler tarafından büyük vakit ve çaba harcanarak elle hazırlanan ve ne yazık ki birçok karışıklığa yol açan verimsiz çizelgeler için oluşturulan eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinde literatürde sıkça çalışılmaktadır [5].

Literatürde üretim çizelgeleme problemleri, işlerin ve makinelerin sayısına göre tek makineli ve çok makineli çizelgeleme olarak 2 sınıfa ayrılmaktadır. Tüm makine ortamlarının en basiti ve özel durumu olan tek makineli

çizelgeleme, işlerin sıralı bir şekilde işlem gördüğü çizelgeleme problemidir [1]. Bu tür problemlerde, sisteme gelen işler tek bir işleme ihtiyaç duymakta ve işlerin hangi sırada yapılacağına belirlenmesine çalışılmaktadır. Çok makineli üretim çizelgeleme problemleri ise paralel, akış tipi, esnek akış tipi, atölye tipi ve esnek atölye tipi makine çizelgeleme problemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Paralel makine çizelgeleme, birbiriyle özdeş makinelerin paralel olarak yerleştiği ve işlerin rassal olarak herhangi bir makinede işlenebildiği tek makine ortamının daha genişletilmiş halidir. Akış tipi makine ortamında, iş akışı tek bir yönde olup işlerin izledikleri rota aynıdır. Aynı zamanda üretim sırasında her tezgahın işlemi için belirli bir süre ayrılmıştır. Akış tipi ve paralel makine ortamlarının karma hali esnek akış tipini oluşturmaktadır. Atölye tipi makine çizelgeleme probleminde ise işler önceden belirlenmiş rotayı izleyerek işlem görmektedir. Bu tip çizelgeleme problemlerinde, her iş farklı sayıda işleme sahiptir. Her bir işlem için öncelik sırası bulunmakta ve bir işlem sadece bir makinede yapılabilmektedir [6]. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi, klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin genişletilmiş halidir. Bu tür problemlerde aynı amaç için aynı özelliklere sahip birden fazla makine bulunmakta ve işler bir makine yerine, birden fazla makinede işlenebilmektedir. Üretim

çizelgeleme problemlerinin genel görünüşleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Üretim çizelgeleme problem türleri

Bu çalışmada, beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın boyahane bölümünde sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Boyanacak her bir ürünün işlem süresi, teslim süresi ve renk değişiminden kaynaklanan hazırlık süresi dikkate alınarak en iyi çizelgelemenin yapılması sağlanmıştır. Problemin çözümü için yeni bir hedef programlama modeli önerilmiş ve GAMS optimizasyon programında çözülmüştür. Önerilen modelde, son işin tamamlanma zamanını ve toplam gecikme süresini en aza indirmek amaçlanmıştır. Büyük boyutlu problemler için öncelik kurallarına başvurulmuş ve LEKIN programında çözülmüştür.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, literatürde yer alan tek makineli çizelgeleme problemleri üzerine yapılan bazı çalışmaların özeti sunulmuştur. Üçüncü bölümde, hedef programlama hakkında genel bilgi verilerek, yeni bir hedef programlama modeli sunulmuş ve gerçek hayat problemi üzerine yapılan uygulama anlatılmıştır. Dördüncü

bölümde; geliştirilen modelin başarısını test etmek için farklı boyutlu problemlere yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise önerilen hedef programlama modelinden elde edilen sonuçlar; öncelik kurallarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tek makineli çizelgeleme problemi, çizelgeleme problemleri içinde en basit yapıya sahip olanıdır. Tek makineli ortam, daha karmaşık makineli ortamlara sahip problemlerin de çözümünde kullanılabilir [7]. Çalışma kapsamında ele alınan problem literatürde $(1/S_{ij}/C_{max}, \sum T)$ şeklinde gösterilmektedir.

Çalışma kapsamında, literatürde yer alan tek makine üzerine yapılan çalışmalar detaylı taranmış ve modelleme metodu, çözüm yaklaşımı ve çalışmanın vurgusu/amacına göre sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Örneğin, Kaya (2014) çalışmasında son işin tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlamaktadır [8]. Problemi karma tamsayı doğrusal programlama modeli olarak modellemiş ve genetik algoritma ile çözmüştür. Herr ve Goel (2015) çalışmalarında toplam gecikmeyi minimize etmeyi amaçlayan sıra bağımlı hazırlık zamanlı, kaynak kısıtlanmalı tek makineli çizelgeleme problemini çalışmışlardır [9]. Muştı ve Eren (2015) çalışmalarında toplam gecikme süresini en aza indirmeyi amaçlamış, öğrenme etkili ve farklı geliş süreleri bulunan tek makineli çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Problemin çözümü için genetik algoritma, kanguru algoritması, ve genetik-kanguru hibrit algoritması kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır [10].

Souissi vd. (2016) çalışmalarında son işin tamamlanma zamanını (C_{max}) minimize etmeyi amaçlayan tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin modellenmesi için karma tamsayı programlama modeli önerilmiş ve çözümünde sezgisel yöntemler ile dal ve sınır algoritması kullanılmıştır [11]. Ben-Yehoshua ve Mosheiov (2016) tek makineli çizelgeleme problemini ele almış ve erken biten iş sayısının toplamını minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Problemin çözümü için dinamik programlama algoritması kullanılmıştır [12].

Che vd. (2017) çalışmalarında toplam gecikme süresi ile enerji tüketimini minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Problem, karma tamsayı programlama modeli olarak modellenmiş ve çözümü için ϵ - kısıtlama yöntemi kullanılmıştır [13]. Perez-Gonzalez ve Framinan (2018) çalışmalarında son işin tamamlanma süresini (C_{max}) en aza indirmeyi amaçlayan tek makineli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin modellenmesinde karma tamsayı programlama, çözüm yaklaşımında ise sezgisel yöntemler kullanılmıştır [14]. Genel olarak, tek makineli çizelgeleme problemleri detaylı incelendiğinde orta ve büyük boyutlu problemlere ilişkin çalışmaların çoğunda sezgisel yöntemlere başvurulduğu görülmüştür.

Tablo 1. Tek makineli çizelgeleme problemi üzerine yapılan çalışmalardan bazıları

Referans	Yıl	Yazar	Amaç Sayısı		Amaçlar	Vurgu	Modelleme Metodu	Çözüm Yaklaşımları
			Tek	Çok				
[15]	2006	Gupta ve Smith	*		Toplam gecikme	SBHZ	SY	GA, BT, KKA, ÇYDM, DSA
[16]	2007	Özdemir	*		Toplam erken ve geç bitirme	E/G Cezaları SBHZ	KTDP	TA, SAPT
[17]	2010	Zhao ve Tang	*		Cmax	Yaşlanma Etkisi	-	DP
[7]	2011	Kır	*		Ağırlıklı erken ve geç bitirme zamanı Erken ve geç bitirme cezaları toplamı	SBHZ	KTDP	TA, GA
[18]	2011	Özbakır	*		Toplam ağırlıklı gecikme Toplam gecikme zamanı	-	KTDP	SY
[8]	2013	Kaya	*		Cmax	Kaynak kısıtlı SBHZ	KTDP	GA, SY
[19]	2014	Eren		*	Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı Maksimum gecikme Geciken iş sayısı	Öğrenme Etkisi Bozulma Etkisi	DOP	SY
[20]	2014	Ermış	*		Cmax	Erteleme kısıtlı	KTDP	DSA
[21]	2014	Akkocaoğlu		*	Cmax Toplam Tamamlanma süresi	Grup teknolojisi	KTDP	SY
[9]	2015	Herr ve Goel	*		Toplam gecikme	Grup teknolojisi, SBHZ Kaynak kısıtlı	KTDP	SY
[10]	2015	Muştu ve Eren	*		Toplam gecikme	Öğrenme Etkisi	-	GA, KA, HA, ÇYDM
[11]	2016	Souissi vd.	*		Cmax	Önleyici bakım planlama	KTDP	SY (LPT) DSA
[12]	2016	Ben-Yehoshua ve Mosheiov	*		Toplam erken biten iş sayısı	Erken bitirme cezası		DP
[13]	2017	Che vd.		*	Toplam gecikme zamanı, Enerji tüketimi	Enerji verimliliği	KTDP	ϵ – kısıtlama yöntemi Yerel Arama Dinamik ön işlem tekniği ve geçerli eşitsizlikler
[22]	2017	Rostami vd.	*		Toplam ağırlıklı gecikme	Öncelik kısıtlı	-	DP
[14]	2018	Perez-Gonzalez ve Framinan	*		Cmax	Periyodik bakım	KTDP	SY

SY: Sezgisel Yöntem	KTDP: Karma Tamsayı Doğrusal Programlama	DP: Dinamik Programlama	DOP: Doğrusal Olmayan Programlama
TDP: Tamsayı Doğrusal Programlama	GA: Genetik Algoritma	BT: Benzetimli Tavlama	ÇYDM: Çift Yönlü Değişim Metodu
DSA: Dal ve Sınır Algoritması	TA: Tabu Arama	YA: Yerel Arama	ÇKM: Çözüm Kombinasyon Metodu
HA: Hibrit Algoritma	KA: Kanguru Algoritması	MM: Matematiksel Model	KKA: Karınca Kolonisi Algoritması
SAPT: Düzenlenmiş En Küçük İşlem Süresi	SBHZ: Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanlı	E/G: Erkenlik / Geçlik	Cmax: Maksimum Tamamlanma Zamanı

III. MATERYAL METOT

Çalışmada, beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın boyahane bölümünde sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Bu bölüm dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada hedef programlama modelinin genel yapısı, ikinci aşamada önerilen hedef programlama modeli ve üçüncü aşamada ise öncelik kuralları hakkında kısa bilgi verilmiştir. Dördüncü aşamada ise uygulamadan bahsedilmiştir.

A. Hedef Programlama

Hedef programlama; ilk defa Charnes ve Cooper tarafından önerilmiş ve temeli doğrusal programlama yöntemine dayanan, birden fazla amacı olan problemleri, tek bir amacı olan probleme dönüştürmeyi sağlayan optimizasyon yöntemidir [23]. Hedef programlama, kısıtlardan istenmeyen yöndeki sapma miktarlarını minimize ederek karar vericinin hedeflere ulaşmasını [24]. Hedef programlamada, birbirine zıt amaçların önceliklerine/ağırlıklarına göre optimal bir sonuç elde edilir ve hedeflere ulaşıp ulaşılmadığını göstermek için sapma değişkenleri dikkate alınır. Burada amaç; hedeflerden sapmayı en aza indirmektir [25]. Hedef programlamanın en önemli avantajlarından biri ise hiçbir hedef gerçekleştirilebilir olmasa bile, her zaman bir çözüm sağlamasıdır.

Literatürde, hedef programlama çeşitleri tek hedefli programlama, eşit ağırlıklı çok hedefli programlama, ağırlıklı hedef programlama, öncelikli hedef programlama ve ağırlıklı öncelikli hedef programlama olarak sınıflandırılmaktadır. Modelin kurulması ve çözümü açısından tek hedefli programlama problemleri, diğer hedef programlama problemlerine göre daha basittir. Amaç fonksiyonunu oluştururken tek bir hedef olduğundan ağırlık ve öncelik değerlerinin bir etkisi olmayacaktır ve amaç fonksiyonunu sadece sapma değişkenleri oluşturacaktır. Son durumda probleme göre iki sapma değişkeninden birisi seçilir. Tek hedefli programlama problemlerinde amaç fonksiyonun genel gösterimi denklem 1' de verilmiştir.

$$\min Z = (s_1^+ + s_1^-) \quad (1)$$

Probleme ilişkin hedefler eşit ağırlıklı ise, her bir amaç değeri için belirlenen pozitif ya da negatif sapma değişkenlerinden biri seçilir ve istenmeyen bu sapma değişkenlerinin toplamı minimum kılınmaya çalışılır. Eşit ağırlıklı çok hedefli programlama problemlerinde amaç fonksiyonun genel gösterimi denklem 2' de verilmiştir.

$$\min Z = (s_1^+ + s_1^-) + (s_2^+ + s_2^-) + (s_3^+ + s_3^-) + \dots \quad (2)$$

Ağırlıklı hedef programlamada karar vericinin belirlediği önem derecelerine göre sapma değişkenlerine ağırlıklar verilir [26]. Bu ağırlıklar oluşan yeni amaç fonksiyonunda sapma değişkenlerinin önüne katsayı olarak eklenmektedir. Ağırlıklı hedef programlama problemlerinde amaç fonksiyonun genel gösterimi denklem 3' de verilmiştir.

$$\min Z = w_1(s_1^+ + s_1^-) + w_2(s_2^+ + s_2^-) + w_3(s_3^+ + s_3^-) + \dots \quad (3)$$

Öncelikli hedef programlamanın temeli hedefler arasındaki önceliklerin sıralanmasına dayanır. Bu durumda belirlenen öncelik değerleri sapma değişkenlerinin önüne katsayı olarak gelmektedir. Öncelikli hedef programlama problemlerinde amaç fonksiyonun genel gösterimi denklem 4' te verilmiştir.

$$\min Z = P_1(s_1^+ + s_1^-) + P_2(s_2^+ + s_2^-) + P_3(s_3^+ + s_3^-) + \dots \quad (4)$$

Bazı hedef programlama problemlerinde hedeflerin öncelik sıralamasının yanı sıra ağırlıkları da söz konusu olabilir. Bu tür durumlarda amaç fonksiyonunda ağırlık ve öncelik değerleri sapma değişkenlerinin önüne katsayı olarak gelmektedir. Ağırlıklı öncelikli hedef programlama problemlerinde amaç fonksiyonun genel gösterimi denklem 5' de verilmiştir.

$$\min Z = w_1 * P_1(s_1^+ + s_1^-) + w_2 * P_2(s_2^+ + s_2^-) + w_3 * P_3(s_3^+ + s_3^-) + \dots \quad (5)$$

B. Önerilen Hedef Programlama Modeli

Bu çalışmadaki çizelgeleme problemi için yeni bir öncelikli hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde son işin tamamlanma zamanını (C_{max}) ve toplam gecikmeyi ($\sum T$) en aza indirmek hedeflenmiştir.

İndisler

Önerilen hedef programlama modelinde kullanılan indis ve kümeler aşağıda verilmiştir.

İndisler	Tanım Kümesi	
j, i	İş	$i, j=1,2,3,\dots, N$
k, l	Renk	$l, k=1,2,3,\dots, M$
m	Sıra	$m=1,2, 3,\dots, S$

Parametreler

Önerilen hedef programlama modelinde kullanılan parametrelere ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur.

Parametre	Parametre Tanımı
p_{ik}	i işinin k rengine boyanma süresi
stp_{kl}	k renginden l rengine geçmek için gerekecek hazırlık süresi
d_{ik}	k rengine boyanan i işinin teslim zamanı
b_{ik}	Çizelgelenecek işlerin hangi renklere boyanabildiğini gösterir. (j iş k rengine boyanıyorsa 1; diğer durumlarda 0)
$bigM$	Çok büyük pozitif bir sayı

Karar Değişkenleri

Önerilen hedef programlama modelinde kullanılan karar değişkenleri aşağıda sunulmuştur.

X_{ikm}	i işinin hangi sırada k rengine boyandığını gösteren karar değişkeni $\begin{cases} 1 & \text{i. iş m. sırada k. rene boyandıysa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$
C_{ik}	i işinin k rengine boyanma bitiş zamanı
T_{ik}	k rengine boyanacak i işinin gecikmesi
C_{max}	Son işin tamamlanma zamanı
S_1^+	Son işin tamamlanma zamanı için hedeflenen değerden pozitif yönlü sapma

S_1^-	Son işin tamamlanma zamanı için hedeflenen değerden negatif yönlü sapma
S_2^+	Toplam gecikme süresi için hedeflenen değerden pozitif yönlü sapma
S_2^-	Toplam gecikme süresi için hedeflenen değerden negatif yönlü sapma

Amac Fonksiyonu

Geliştirilen hedef programlama modelinde birinci amaç son işin tamamlanma zamanını en aza indirmektir.

$$\min Z_1 = C_{max} \quad (6)$$

Geliştirilen hedef programlama modelinde ikinci amaç toplam gecikme süresini en aza indirmektir.

$$\min Z_2 = \sum_i \sum_k T(i, k) \quad (7)$$

Çalışmada; birinci hedefin ikinci hedefe göre daha önemli olduğu düşünülerek öncelikli hedef programlama modeli önerilmiştir (P1: 1. Öncelik, P2: 2. Öncelik). Denklem (8)' de görüldüğü üzere önerilen hedef programlama modelinin amaç fonksiyonunda son işin tamamlanma zamanı için hedeflenen değerden pozitif yönlü sapma ile toplam gecikme süresi için hedeflenen değerden pozitif yönlü sapma değişkenlerinin toplamı minimize edilmiştir.

$$\min Z = P1 S_1^+ + P2 S_2^+ \quad (8)$$

Kısıtlar

Önerilen hedef programlama modelinin kısıtları aşağıdaki gibidir.

$$C_{ik} \geq C_{jl} + p_{ik} + stp_{kl} - bigM * (1 - X_{ikm}) - bigM * (1 - X_{jlm-1})$$

$$\forall i, j, k, l, m > 1 \text{ ve } (i, k) \neq (j, l) \quad (1)$$

$$C_{ik} \geq p_{ik} + bigM * (1 - X_{ikm}) \quad \forall i, k, \text{ ve } m = 1 \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_k X_{ikm} = 1 \quad \forall m \quad (3)$$

$$\sum_m X_{ikm} \leq 1 \quad \forall i, k \quad (4)$$

$$X_{ikm} \leq b_{ik} \quad \forall i, k, m \quad (5)$$

$$C_{max} \geq C_{ik} \quad \forall i, k, m = S \quad (6)$$

$$T_{ik} \geq C_{ik} - d_{ik} \quad \forall i, k \quad (7)$$

$$C_{max} - S_1^+ + S_1^- = hedef_1 \quad (8)$$

$$\sum_i \sum_k T_{ik} - S_2^+ + S_2^- = hedef_2 \quad (9)$$

$$X_{ikm} \in \{0, 1\} \quad \forall i, k, m \quad (10)$$

$$T_{ik}, C_{ik}, C_{max}, S_1^+, S_1^-, S_2^+, S_2^- \geq 0 \quad \forall i, k \quad (11)$$

Kısıt (1) m. sıradaki işin ve kısıt (2) ilk işin tamamlanma zamanını belirlemektedir. Kısıt (3) her işin yalnızca bir sıraya atanmasını, kısıt (4) ise her sıraya yalnızca bir işin atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (5) i işinin herhangi k rengine boyanmadığı durumda, bu işin sıraya atanmasını engeller. Kısıt (6) son işin tamamlanma zamanını, kısıt (7) i işinin k rengine boyanmasının gecikmesini ifade etmektedir. Kısıt (8) ve (9) hedef değerlerinden sapma miktarlarını gösterir. Kısıt (10) ve (11) matematiksel modelde yer alan karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır.

C. Öncelik Kuralları

Problemlerin boyutları büyüdükçe zorlukları da üstel olarak artmakta ve polinom zamanda çözülebilen P sınıfından üstel zamanda çözülebilen NP (Non-deterministic-polynomial time) sınıfına geçmektedir [27]. Gerçek hayatta neredeyse tüm çizelgeleme problemleri NP-zor sınıfındadır. Böyle problemlerin çözümü için matematiksel yöntemler kullanarak optimal bir çözüm bulmak çok uzun zaman alabileceğinden dolayı sezgisel yöntemlerden faydalanılmaktadır. Burada amaç en iyi çözümü garanti etmeksizin daha az çözüm zamanı ile en optimuma yakın bir çözüm elde etmeye çalışmaktır.

Öncelik kurallarından SPT, LPT, FCFS ve EDD çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. SPT kuralına göre sıralama, en kısa işlem süresine sahip operasyondan en uzun işlem süresine sahip operasyona doğru yapılır. LPT kuralına göre sıralama, en uzun işlem süresine sahip operasyondan en kısa işlem süresine sahip operasyona doğru yapılır. FCFS kuralına göre, siparişin geliş sırası baz alınır ve ilk gelen sipariş ilk sıraya konularak bir sıralama yapılır. EDD kuralında ise teslim tarihine göre operasyon sıralaması yapılmaktadır. En erken teslim tarihine sahip operasyondan en geç teslim tarihine sahip operasyona doğru bir sıralama yaparak çözüm elde edilir.

D. Uygulama

Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada, beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın boyahane bölümünde sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Boyahane bölümünde tek bir konveyör hat bulunup işlemler aşağıdaki sıraya göre gerçekleştirilmektedir;

- Boya kabini temizlenir, ilgili renk eklenir.
- Ürünler uygun askı konveyöre takılır.
- Aynı renge boyanacak ürünler askıya asılır.
- Konveyör hat işçi teması olmadan sırasıyla yıkama kurutma kabinlerinde işlem görür.
- Konveyör hat boya kabine ilerler. Boya kabini iki işçi ve bir boya robotu boyama işlemini gerçekleştirir.
- Boya kabini işlemi bitmiş ürünler konveyör hattında ilerleyerek kurutma kabini işlem görür.
- Konveyör hattının bitiminde ürünler, toplama bölümündeki işçiler tarafından toplanır.

Bu iş akışı aynı renge boyanacak ürünler olduğu takdirde konveyör hattı durmadan, herhangi bir hazırlık süresi olmadan, devam eder. Eğer farklı bir renge geçilmesi gerekiyorsa hat durdurulup renkten renge geçiş yapılması için boya kabini temizlenip yeni boya eklenir.

Mevcut düzende boyahane bölümü montaj hatlarına verilen iş planına göre çalışmaktadır. Boyahane bölümüyle ilgilenen boyahane şefi planda bulunan işleri, kendi tecrübesine dayanarak en uygun şekilde sıralamakta ve boyahane için bir üretim planı oluşturmaktadır. Sıralamadaki bu plansızlık iş gecikmelerine, temin sürelerinin uzamasına, ara stok oluşmasına dolayısıyla boyama makinesinin darboğaz gibi davranmasına neden olmaktadır.

Problemin Varsayımları

İncelenen problem aşağıdaki özellikleri içermektedir;

- Tek makinede n tane iş ($j = 1, 2, \dots, n$) yapılmaktadır. İşler 0 anında hazırdır.
- Bir işten diğerine geçerken hazırlık süreleri probleme dahil edilir. Hazırlık süreleri işin sıralamasına bağlıdır. S_{jk} , j ile k işlerinin işlemleri arasındaki hazırlık zamanını ifade etmektedir.
- Makine sürekli çalışır durumdadır.
- İş planı önceden yapılmaktadır.
- İş kesintisine izin verilmemektedir.
- Yeni iş kabul edilemez, mevcut iş listeden çıkartılamaz.

Örnek Veri Seti

Üç günlük mevcut üretim planından rastgele seçilen 28 iş ve 6 renk kullanılmıştır. Her bir ürünün rengi, işlem süresi ve teslim süresi Tablo 2’de verilmiştir. Bir renkten başka bir renge geçerken gerekli hazırlık süresi ise Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. Üç günlük iş planı

Ürün Kodu	Boya Kodu	Toplam Fiili Süre (dk)	Teslim Zamanı (dk)
1	A	138	1440
2	A	125	2880
3	A	145	4320
4	A	132	2880
5	A	117	4320
6	B	122	4320
7	C	117	4320
8	D	126	1440
9	D	104	2880
10	E	114	1440
11	F	107	1440
12	E	117	2880
13	C	203	1440
14	C	185	2880
15	E	107	4320
16	B	120	1440
17	B	122	2880
18	B	110	4320
19	C	213	1440
20	C	227	2880
21	C	142	4320
22	D	137	1440
23	D	113	1440
24	A	169	1440
25	A	169	2880
26	A	224	4320
27	A	155	2880
28	A	244	4320

Tablo 3. Renkten renge geçiş için gerekli hazırlık süresi (dk)

Renkler	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
k_1	0	50	20	45	30	30
k_2	50	0	50	50	40	20
k_3	20	50	0	35	35	30
k_4	45	50	35	0	20	40
k_5	30	40	35	20	0	30
k_6	30	20	30	40	30	0

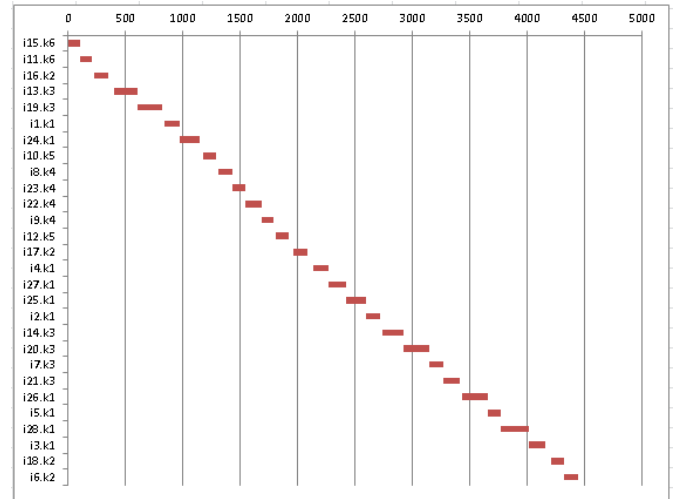
IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

Önerilen hedef programlama modelinin çözümü için GAMS optimizasyon programı kullanılmıştır. Geliştirilen modelin başarısını test edebilmek için farklı boyutlarda problemler oluşturulmuştur. Sonuçlar Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4. Önerilen matematiksel modele ait sonuçlar

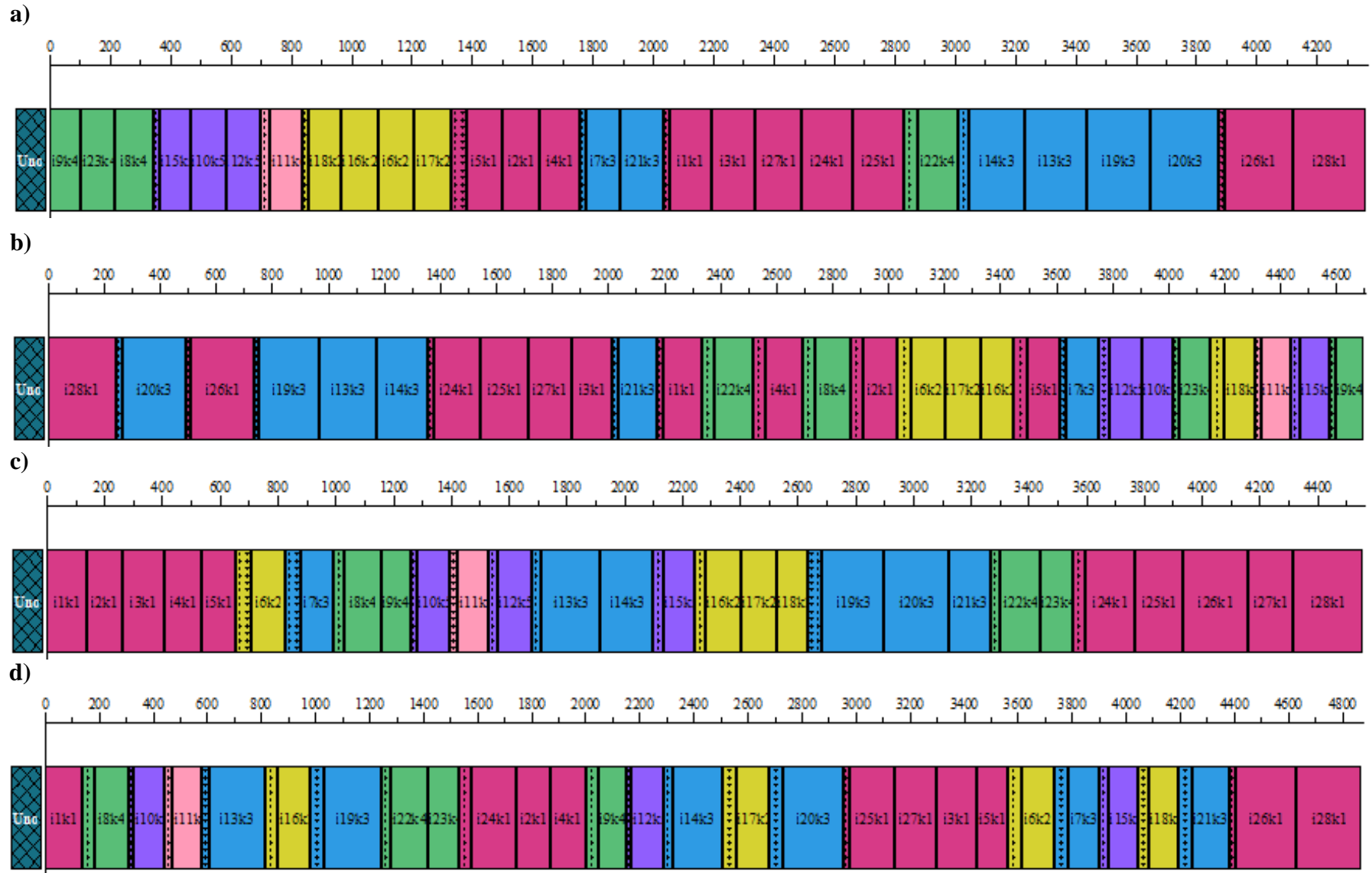
Problem No	Problem Boyutu	C_{max} (dk)	$\sum T_{ik}$ (dk)	Süre (dk)
1	(4 İş-3 Renk)	790	0	0.033
2	(10 İş- 6 Renk)	1684	17	61
3	(28 İş- 6 Renk)	4444	909	1200

1. problem için C_{max} ve $\sum T_{ik}$ sırasıyla 790 dk ve 0 dk olarak bulunmuş ve çözüm süresi yaklaşık 3 saniyedir. 2. problemde 61 dakikada optimal çözüme ulaşılmış ve minimum C_{max} ve $\sum T_{ik}$ değerleri sırasıyla 1684 dk ve 17 dk olarak bulunmuştur. 3. problemin çözümü için program 20 saat çalıştırılmıştır. Ancak optimum sonuca ulaşamadığı için çözüm süresi 1200 dk ile sınırlandırılmıştır. 1200 dk ile sınırlandırılan program her bir amaç için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Her bir amaç için hedef değer belirlenmiş, hedef değerlere göre program yeniden çalıştırılmış ve C_{max} ve $\sum T_{ik}$ sırasıyla 4444 dk/909 dk olarak bulunmuştur. 1200 dk ile sınırlandırılan matematiksel modele ait iş/renk sıralaması Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 28 iş 6 renk model çözümü için iş sıralaması

NP-zor yapıda olan büyük boyutlu problemin hedef programlama modeliyle makul sürede çözümü bulunamadığı için öncelik kurallarına başvurulmuştur. Öncelik kuralları çözümü için LEKIN programı kullanılmıştır. Öncelik kurallarına göre iş sıralaması Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) SPT (b) LPT (c) FCFS (d) EDD çözünü için iş sıralaması

SPT kuralına göre C_{max} (4364 dk) ve $\sum T_{ik}$ (9146 dk) olarak bulunmuştur. LPT kuralına göre C_{max} (4699 dk) ve $\sum T_{ik}$ (17494 dk) olarak bulunmuştur. FCFS kuralına göre C_{max} (4559 dk) ve $\sum T_{ik}$ (12408 dk) olarak bulunmuştur. EDD kuralına göre ise C_{max} (4874 dk) ve $\sum T_{ik}$ (2009 dk) olarak bulunmuştur. Büyük boyutlu problemin GAMS/CPLEX çözümü ile tüm öncelik kurallarının çözümlerine ait genel sonuçlar Tablo 5'teki gibidir.

Tablo 5. 28 iş 6 renk için sonuçlar

Yöntem/Kural	C_{max} (dk)	$\sum T_{ik}$ (dk)	Süre (dk)
Hedef Programlama	4444	909	1200
SPT	4364	9146	0.033
LPT	4699	17494	0.033
FCFS	4559	12408	0.033
EDD	4874	2009	0.033

V. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma sıra bağımlı hazırlık süreli tek makineli çizelgeleme problemini ele almıştır. Son işin tamamlanma zamanı ve toplam gecikme süresinin en aza indirilmesi amacıyla bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir ve mevcut probleme uygulanmıştır. NP-zor yapıda olan bu problem farklı problemlere indirgenip çözümü yapılmıştır. Matematiksel model ile küçük boyutlu problemlerde en iyi çözüme ulaşılmış ancak büyük boyutlu problem için optimum çözüm elde edilememiştir. Gerçek hayatta daha büyük problemlerle ilgilenmek ve problem çözümlerine en hızlı yöntemle ulaşılmak istendiği düşünülerek öncelik kurallarına başvurulmuştur. Öncelik kuralları matematiksel model çözümü gibi optimum sonuç bulamamaktadır. Ancak öncelik kuralları matematiksel model çözümünden daha kısa sürede sonuç verdiğinden büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanımı tercih edilmektedir. Özellikle çok ölçütlü problemlerin birlikte çözüldüğü ve geçiş için gerekli hazırlık sürelerinin bulunduğu tek makineli çizelgeleme problemleri ile ilgili uygulama örneklerinin çok kısıtlı olmasından dolayı bu alan için önemli bir çalışma olabileceği öngörülmüştür.

KAYNAKÇA

[1] Pinedo, M. L. (2008). Scheduling: theory, algorithms, and systems. Springer.

[2] Özdemir, Ö. (2010). Solving single and parallel machine scheduling problems with sequence dependent setup times using differential evolution based algorithms, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi).

[3] Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Hastanede Bir Uygulama. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi.

[4] Tapkan, P. Z., Özbakır, L., Kulluk, S., & Telcioğlu, B. (2018). raylı sistemlerde görev çizelgeleme probleminin modellenmesi ve çözümü. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi.

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

[6] Tanyaş, M., Baskak M. (2017). Üretim planlama ve Kontrol. (7.Baskı), İstanbul:İrfan Yayıncılık.

[7] Kır, S. (2011). Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanlı Tek Makineli Çizelgeleme Problemleri: Gıda Sektöründe Bir Uygulama (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

[8] Kaya, S. (2013). A genetic algorithm for the resource constrained project scheduling problem having a single machine with sequence dependent setup times.

[9] 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.

[10] 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.

[11] Souissi, O., Benmansour, R., & Artiba, A. (2016). An accelerated MIP model for the single machine scheduling with preventive maintenance. IFAC-Paper sOnLine, 49(12), 1945-1949.

[12] Ben-Yehoshua, Y., & Mosheiov, G. (2016). A single machine scheduling problem to minimize total early work. Computers & Operations Research, 73, 115-118.

[13] 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.

[14] Perez-Gonzalez, P., & Framinan, J. M. (2018). Single machine scheduling with periodic machine availability. Computers & Industrial Engineering.

[15] Gupta, S. R., & Smith, J. S. (2006). Algorithms for single machine total tardiness scheduling with sequence dependent setups. European Journal of Operational Research, 175(2), 722-739.

[16] Özdemir M.H. (2007). kısıtlandırılmış teslim tarihli ve sıraya bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemlerinde erkenlik ve geçlik toplamının en küçükleme, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

[17] Zhao, C., & Tang, H. (2010). Single machine scheduling with past-sequence dependent setup times and deteriorating obs. Computers & Industrial Engineering, 59(4), 663-666.

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

[19] Eren, T. (2014). Learning and Deteriorating Effects on the Single Machine Scheduling Problems. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi

[20] Ermiş, G. (2014). Single Machine Scheduling with Timelag Constraints, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi).

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

[22] Rostami, S., Creemers, S., & Leus, R. (2019). Precedence theorems and dynamic programming for the single-machine weighted tardiness problem. European Journal of Operational Research, 272(1), 43-49.

[23] Charnes, A., & Cooper, W. W. (1961). Management models and industrial applications of linear programming (No. 339.23 C4).

[24] Orhan, İ., Kapanoğlu, M., & Karakoç, T. H. (2012). Hedef Programlama ile Bütünleşik Uçak Rotalama ve Bakım Çizelgeleme. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(1).

[25] Dağdeviren, M., Diyar, A., & Mustafa, K. (2004). İş Değerlendirme, Faktör Derece Puanlarının Belirlenmesinde Hedef Programlama Yönteminin Kullanılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(1).

[26] Türkoğlu, S. P. (2017). Karar Vermede Hedef Programlama Yöntemi Ve Uygulamaları. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1(2), 29-46.

[27] Aslan, E. (2018). İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme. (1.baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık