

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuba GÜR

**ATÖLYE TİPİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN TOPLAM
EKİPMAN ETKİNLİĞİ, DEĞER AKIŞ HARİTALAMA VE
MATEMATİK PROGRAMLAMA MODELİ KULLANILARAK
ÇİZELGELENMESİ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATÖLYE TİPİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN TOPLAM EKİPMAN
ETKİNLİĞİ, DEĞER AKIŞ HARİTALAMA VE MATEMATİK
PROGRAMLAMA MODELİ KULLANILARAK ÇİZELGELENMESİ**

Tuba GÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 22/07/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Dr.Öğr.Üyesi Ebru YILMAZ
DANIŞMAN

.....
Prof.Dr. Ali KOKANGÜL
ÜYE

.....
Dr.Öğr.Üyesi Murat OTURAKÇI
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATÖLYE TİPİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN TOPLAM EKİPMAN
ETKİNLİĞİ, DEĞER AKIŞ HARİTALAMA VE MATEMATİK
PROGRAMLAMA MODELİ KULLANILARAK ÇİZELGELENMESİ**

TUBA GÜR

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ebru YILMAZ
Yıl: 2019, Sayfa: 79
Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Ebru YILMAZ
: Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Dr. Öğr. Üyesi Murat OTURAKÇI

İşletmelerin rekabetin arttığı günümüz şartlarına adaptasyon sağlayabilmeleri için etken bir şekilde mevcut makine ve ekipmanlarını kullanabilmeleri ve dolayısıyla verimli bir üretim süreci gerçekleştirebilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, önce, toplam ekipman etkinliği kullanılarak hat verimlilikleri belirlenmektedir. Daha sonra, iyileştirme yapılabilecek alanların belirlenebilmesinde değer akış haritalama kullanılarak mevcut durum ve kayıpların ortadan kaldırıldığı gelecek durum haritaları oluşturulmaktadır. Son olarak, mevcut ve iyileştirilmiş kapasiteleri dikkate alan bir matematik programlama modeli önerilmektedir. Bu model ile gecikme süreleri minimize edilmektedir ve Gantt şeması yardımıyla da çizelgeleme yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama, matematik programlama modeli, çizelgeleme, gantt şeması

ABSTRACT

MSc. THESIS

SCHEDULING OF JOB SHOP MANUFACTURING SYSTEMS USING OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS, VALUE STREAM MAPPING AND MATHEMATICAL PROGRAMMING MODEL

Tuba GÜR

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Ebru YILMAZ
Year: 2019, Pages: 79
Jury : Asst. Prof. Dr. Ebru YILMAZ
: Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Asst. Prof. Dr. Murat OTURAKÇI

In order to be able to adapt to today's conditions where competition is increasing, companies need to use their existing machinery and equipment effectively and hence to perform their production process efficiently. In this study, first, the efficiencies of lines are determined by using overall equipment efficiency. Then, current state map and future state map where losses are eliminated are presented by using value stream mapping in order to identify areas that can be improved. Finally, a mathematical programming model has been proposed that takes into account existing and improved capacities. Using this mathematical model, delay times are minimized and scheduling is done by Gantt charts.

Key Words: Overall equipment effectiveness, value stream mapping,
mathematical programming model, scheduling, gantt chart

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Son zamanlarda işletmeler maliyetlerini düşürebilmek için yalın üretim tekniklerinden yararlanmaktadır. Bu teknikler, 5S, Poke-Yoke, kaizen, kanban, toplam verimli bakım, toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama gibi tanımlanabilir.

Bu çalışmada yalın üretim tekniklerinden toplam ekipman etkinliği ve değer akış haritalama detaylı olarak anlatılmış olup bir rafine yağ üretim süreci düşünülerek bu yöntemlerin nasıl uygulanabileceğine dair örnek yapılarak sonuçları yorumlanmıştır. Ayrıca, bir rafineri ünitesi sürecine sahip bir firmanın üretim prosesi de süreçlerin anlaşılabilmesi açısından gözlemlenmiştir.

Toplam ekipman etkinliği, makinelerin ve diğer ekipmanların etkinliğinin tespitinde kullanılan tekniklerden biridir. Tesisler çalışırken tam kapasitede üretim yapılmasını engelleyen birçok duruş meydana gelebilmektedir. Bu duruşlar, planlı duruş, başlama kaybı, ikmal kaybı, ürün değişimi (ayar) kaybı, arıza kaynaklı kayıp gibi sınıflandırılabilir. Toplam ekipman etkinliğinin üç çarpanı mevcuttur. Bunlar, kullanılabilirlik, performans ve kalite çarpanıdır. Kullanılabilirlik oranı tesisin hangi oranda kullanıldığına dair bilgi verir. Performans oranı kullanılabilir zamandaki üretim performansını verir. Kalite çarpanı ise üretimdeki fire oranını vermektedir. Toplam ekipman etkinliği bu üç oranın çarpımından oluşmaktadır. Bu çalışmada, toplam ekipman etkinliği Excel tabloları ile hesaplanmıştır. Verimi düşük olan ürün için kayıpların kırılımı analiz edilerek prosesteki iyileştirme çalışmalarına başlanması gereken süreç belirlenmiştir.

Değer akış haritalama, proseslerde değer yaratan ve israf olarak da bilinen değer yaratmayan faaliyetlerin ayrıştırılarak israfların ortadan kaldırılmasını kolaylaştırmaktadır. Mevcut durum haritaları ile şirketlerin şu an hali hazırda mevcut süreç akışları çıkarılmaktadır. Bu akışta aksaklıkların ve kayıpların olduğu süreçler için kritik sorular sorularak olması istenilen durum için gelecek durum haritası hazırlanmaktadır. Gelecek durum haritasına ulaşmak için iyileştirme

alışmalarının başlatılacağı süreçler belirlenmektedir. Bu çalışmada rafine yağ üretim süreci düşünülerek değer akış haritalama ile kaset filtre değerışim sürecinde yapılan iyileştirme çalışması neticesinde gelecek durum haritasındaki iyileştirilmiş kapasitede üretim e ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada beş adımlı problem çözme tekniğinden faydalanılmıştır.

izelgeleme temel olarak hatlarda üretilmek için bekleyen siparişlerin belirli kısıtlar altında sıra ile makinelere yerleştirilmesine dayanmaktadır. İşletmelerin önceliklerine göre amaç fonksiyonu olarak tamamlanma zamanı veya gecikme süresi minimum yapılmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada rafine yağ üretim prosesi düşünülerek işlenmek için bekleyen siparişlerin, termin tarihleri göz önünde bulundurularak toplam gecikme süresini minimum yapmak amaçlanarak optimum çözümü sağlayan bir matematik programlama modeli ile çizelgeleme yapılmıştır. Geliştirilen model LINGO 18.0 programı ile çözülmüştür. İlk olarak mevcut durum için iyileştirme çalışmaları yapılmadan problem çözülmüş minimum 10 günlük gecikme süresi ile siparişler tamamlanabilmiştir. İyileştirme alışması sonrasında iyileştirilmiş kapasiteler baz alınarak problem çözüldüğünde siparişlerin gecikmesiz olarak tamamlandığı görülmüştür. Siparişlerin makinelere yerleşimi Gantt şeması ile ayrıca gösterilmiştir. Böylece, bu çalışmada yalın üretim yöntemleri sonucunda gerçekleştirilen iyileştirmeye yer verilmiş olup, yapılan iyileştirme sonucunda siparişlerin çizelgelenmesinde gecikme sresindeki azalmaya olan etkisi geliştirilen matematik programlama modeli ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama ve çizelgeleme ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar da değerlendirilmiş olup bu değerlendirme neticesinde bu tekniklerin hepsini birlikte ele alan bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışmanın devamı olarak ilerideki çalışmalarda, Excel tablolarında hesaplanan toplam ekipman etkinliği formülasyonu için bir yazılım programı geliştirilerek hem veri güvenliği hem de hesaplama kolaylığı sağlanabilir.

Çizelgeleme esnasında kullanılan matematik programlama modelinin kapsamı farklı kısıtlar eklenerek genişletilebilir. Veri boyutu ve kısıtlar artırılarak sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalar geliştirilip sonuçları analiz edilebilir.





TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecim boyunca, tez konumu belirlerken ve yazarken yardımını esirgemeyen, motivasyonumun düşük olduğu dönemlerde bile beni destekleyip her zaman yol göstericim olan çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ebru YILMAZ'a, sevgili aileme ve ilerde ailem olacak Mehmet PINARBAŞI'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Planlama uzmanı olarak görev yapmakta olduğum AVES Enerji ve Gıda A.Ş.'de her zaman destekçim olan çok değerli yöneticim Firdevs EROL'a ve tez çalışmam boyunca yalın üretim tekniklerini kullanmamda yardımcı olan Yalın Danışman Can YÜKSELEN'e emekleri için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Toplam Ekipman Etkinliği.....	1
1.2. Değer Akış Haritalama	4
1.3. Çizelgeleme	7
1.4. Çalışmanın Önemi ve Amacı	8
1.5. Çalışmanın Adımları.....	9
1.6. Çalışmanın Organizasyonu	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
2.1. Toplam Ekipman Etkinliği İle İlgili Önceki Çalışmalar	11
2.2. Değer Akış Haritalama İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	12
2.3. Çizelgeleme İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	14
2.4. Bazı Teknikleri Birlikte İnceleyen Çalışmalar	17
2.5. Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi.....	18
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1. Rafineri Ünitesi Duruş Ana ve Alt Kalem Kayıpları	21
3.2. Rafineri Ünitesi Toplam Ekipman Etkinliği	23
3.3. Rafineri Ünitesi Değer Akış Haritalama	23
3.3.1. Problemi Tanımlama	24
3.3.2. Problemi Parçalara Ayırma	25
3.3.3. Hedef Belirleme	26

3.3.4. Kök-Neden Analizi	26
3.3.5. Karşı Önlemler Geliştirme	27
3.4. Rafineri Ünitesi Çizelgeleme	28
3.4.1. Rafineri Ünitesi Siparişleri.....	28
3.4.2. Rafineri Ünitesi Siparişlerin Matematik Programlama Modeli	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Rafineri Ünite Bazlı Üretim Miktarları ve Teorik Üretim Süreleri	31
4.2. Rafineri Ünitesi Toplam Ekipman Etkinliği Analizi	33
4.3. Rafineri Ünitesi Toplam Ekipman Etkinliği İçin Bulgular	34
4.4. Rafineri Ünitesi Değer Akış Haritalama İçin Bulgular.....	38
4.5. Rafineri Ünitesi Çizelgeleme İçin Bulgular.....	41
4.5.1. Rafineri Ünitesi Siparişleri.....	41
4.5.2. Rafineri Ünitesi Mevcut Kapasitelerle Çizelgeleme.....	42
4.5.3. Rafineri Ünitesi İyileştirilmiş Kapasitelerle Çizelgeleme.....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
5.1. Çalışmanın Özeti.....	49
5.2. Çalışmanın Sonuçları	50
5.3. Gelecek Çalışmalar için Öneriler.....	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	59
EKLER.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1.	Literatür çalışmalarının konu bazında dağılımı	19
Çizelge 3.1.	Rafineri ünitesi duruş ana ve alt kalem kırılım tablosu	22
Çizelge 3.2.	Eski yöntem kaset filtre yıkama ve yeni yerinde yıkama sisteminin karşılaştırılması	27
Çizelge 4.1.	Rafineri ünitesi nötr soya yağı üretim ve teorik kapasite tablosu.....	31
Çizelge 4.2.	Rafineri ünitesi kullanılabilirlik, performans, kalite ve TEE tablosu.....	33
Çizelge 4.3.	Rafineri ünitesi iyileştirilmiş kullanılabilirlik, performans, kalite ve TEE tablosu.....	35
Çizelge 4.4.	Rafine ünitesi sipariş ve teslim zamanı tablosu	41
Çizelge 4.5.	Rafineri ünitesi mevcut kapasite ve sipariş üretim süresi tablosu.....	42
Çizelge 4.6.	Rafineri ünitesi siparişleri için gerekli süre tablosu.....	43
Çizelge 4.7.	Rafineri ünitesi siparişleri için mevcut özet veri tablosu	43
Çizelge 4.8.	Rafineri ünitesi siparişleri mevcut kapasitelerle Gantt şemasında gecikme süresi.....	45
Çizelge 4.9.	Rafineri ünitesi iyileştirilmiş kapasite ve sipariş üretim süresi tablosu.....	46
Çizelge 4.10.	Rafineri ünitesi siparişleri için iyileştirilmiş özet veri tablosu	46
Çizelge 4.11.	Rafineri ünitesi siparişleri iyileştirilmiş kapasitelerle Gantt şemasında gecikme süresi.....	48
Çizelge 4.12.	Mevcut ve iyileştirilmiş kapasite gecikme süresi karşılaştırma.....	48



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Toplam ekipman etkinliğindeki büyük kayıp kırılımı	3
Şekil 1.2. Değer akış haritalama süreç adımları (Doğan ve Ersoy, 2016)	6
Şekil 1.3. Değer akış haritalama şekilleri (Doğan ve Ersoy (2016); Adalı ve ark. (2017)).....	7
Şekil 3.1. Rafine ünitesinde muğlak problem	24
Şekil 3.2. Rafineri ünitesinde problemi parçalara ayırma.....	25
Şekil 3.3. Rafineri ünitesinde önceliklendirilmiş alt problem.....	25
Şekil 3.4. Rafineri ünitesi probleminin kök neden analizi	26
Şekil 4.1. Rafineri ünitesi ürün bazlı TEE ve kayıp kırılım grafiği	34
Şekil 4.2. Rafineri ünitesi iyileştirilmiş ürün bazlı TEE ve kayıp kırılım grafiği ...	37
Şekil 4.3. Rafineri ünite 1 muğlak problem	39
Şekil 4.4. Rafineri ünite 1 önceliklendirilmiş alt problem	39
Şekil 4.5. Nötr soya yağı aylık üretim grafiği.....	40
Şekil 4.6. Aylık ağartma toprağı birim maliyet tablosu	41
Şekil 4.7. LINGO 18.0 mevcut durum çözüm ekranı	44
Şekil 4.8. LINGO 18.0 iyileştirilmiş durum çözüm ekranı.....	47



1. GİRİŞ

1.1. Toplam Ekipman Etkinliği

Toplam Ekipman Etkinliği (TEE), makine ve ekipmanlarda nasıl bir etkenlikte üretim yapıldığını ölçmek için yararlanılan tekniklerden biridir. TEE ile makine ve ekipmanlardan hangi oranlarda yararlanıldığına dair ölçümler sağlanarak nerelerde iyileştirmeler yapılabileceği konusunda karar verilebilir (Temiz ve ark., 2010).

TEE, makine ve ekipmanların optimum çalışma şartlarından sapmasına sebep olan çeşitli üretim kayıplarını belirleyerek iyileştirme yapılabilecek alanları ortaya çıkartan bir tekniktir (Yaşın ve Daş, 2017).

Üretim kayıplarından bazıları aşağıdaki gibidir:

Planlı duruş kaybı: Öğle yemeği, çay molası, planlı bakım gibi durumlar planlı duruş olarak nitelendirilebilir. Dolayısıyla, bunların süreleri planlı çalışma süresine dâhil edilmemelidir ve böylelikle TEE oranını etkilememelidir (Çelik ve Taşkın, 2019).

Arıza nedeniyle oluşan kayıp: Üretim ortamlarında sıklıkla karşılaşılabilen kayıplardan birisi de arıza kaynaklı olabilmektedir. Arıza nedeniyle bakımın yoğun olduğu sistemlerde duruşlardan kaynaklı olan performans kayıpları fazla olabilmektedir (Çelik ve Taşkın, 2019). Ekipmanların arıza kayıpları ekipmanların operasyonlarını durdurduğu için üretim oranını azaltmaktadır (Tsarouhas, 2019).

Başlama kaybı ve ürün değişimi (ayar) kaybı: Başlama kaybı, bir ekipmanın başlangıçta tam randımanla çalışmasına kadar geçen süre şeklinde tanımlanabilir. Ürün değişimi (ayar) kaybı ise bir ürünün üretimden sonra diğer ürünün gereksinimleri karşılamak için yapılan ayarlamalar neticesinde oluşan süre kaybıdır (Tsarouhas, 2019). Ekipmanların esnek olmaması ve ayarlamalar için ekipmanların durdurularak yapılması gibi durumlar nedeniyle ayar süreleri artabilir (Çelik ve Taşkın, 2019).

İkmal (bekleme) kaybı: Hammadde gibi ana malzemeler veya yardımcı malzemeler zamanında gelmediğinde bekleme kaybı yaşanır ve bu nedenle hat duruşu oluşur.

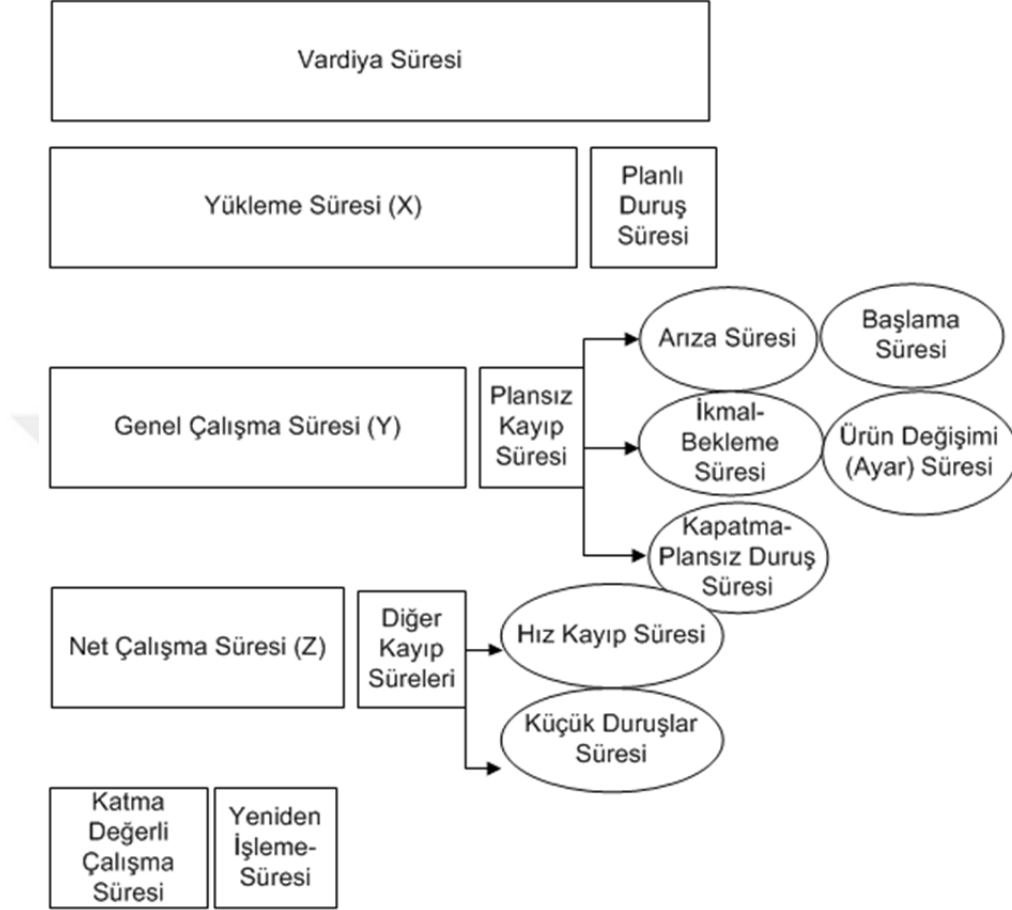
Kapatma ya da plansız duruşlar nedeniyle oluşan kayıplar: Planlanmış üretim zamanı içerisinde gerçekleşen plansız duruşlardır (Çelik ve Taşkın, 2019). Ani elektrik kesilmeleri örnek olarak verilebilir.

Hız kaybı: Ekipmanların olması gereken hızındaki düşüşler nedeniyle oluşan kayıplardır (Tsarouhas, 2019). Çalışma parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenemediği durumlarda da oluşabilir (Çelik ve Taşkın, 2019).

Yeniden işleme nedeniyle oluşan kayıp: Kalite problemi olan ürünler yeniden işlemeyi gerektirebilir. Bu durum da ekipmanların etkinliğini ilgilendirir (Çelik ve Taşkın, 2019).

Küçük duruşlar nedeniyle oluşan kayıplar: Ekipmandaki geçici çalışma bozukluğu gibi durumlardan dolayı üretimin durması nedeniyle oluşan kayıplardır (Tsarouhas, 2019).

Şekil 1.1’de toplam ekipman etkinliğinde iyileştirilmesi gereken büyük kayıplar gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Toplam ekipman etkinliğindeki büyük kayıp kısılları

TEE'nin kullanılabilirlik, performans ve kalite olmak üzere 3 çarpanı bulunmaktadır. Aşağıdaki denklem (1.1)'de kullanılabilirlik çarpanının hesaplanma yöntemi yer almaktadır. Denklemler (1.1), (1.2) ve (1.3), Saleem ve ark (2017)'nin çalışmasında da benzer şekillerdedir.

$$\text{Kullanılabilirlik(A)} = (\text{Genel Çalışma Süresi}) / (\text{Yükleme Süresi}) = Y/X \quad (1.1)$$

Denklem (1.2) ve (1.3)'de kullanılabilirlik çarpanı için gerekli yükleme ve çalışma sürelerinin formülasyonu yer almaktadır.

$$\text{Yükleme Süresi} = \text{Vardiya Süresi} - \text{Planlı Duruş Süresi} \quad (1.2)$$

$$\text{Genel Çalışma Süresi} = \text{Vardiya Süresi} - \text{Planlı Duruş Süresi} - \text{Plansız Duruş Süresi} \quad (1.3)$$

Denklem (1.4)'de, performans çarpanının hesaplanma yöntemi yer almaktadır.

$$\text{Performans(P)} = (\text{Net Çalışma Süresi}) / (\text{Genel Çalışma Süresi}) = Z/Y \quad (1.4)$$

Denklem (1.5)'de, kalite çarpanının hesaplanma yöntemi yer almaktadır. Denklem (1.5), Saleem ve ark (2017)'nin çalışmasında da benzer şekildedir.

$$\text{Kalite (Q)} = (\text{Vardiyadaki Üretim Miktarı} - \text{Vardiyadaki Kusurlu Üretim Miktarı}) / (\text{Vardiyadaki Üretim Miktarı}) \quad (1.5)$$

Denklem (1.6)'da Yaşin ve Daş (2017)'de de belirtildiği gibi toplam ekipman etkinliği hesabı görülmektedir.

$$\text{Toplam Ekipman Etkinliği (TEE)} = \text{Kullanılabilirlik (A)} * \text{Performans (P)} * \text{Kalite (Q)} \quad (1.6)$$

1.2. Değer Akış Haritalama

Değer akış haritalama ile bir süreç akışındaki değer yaratan ve değer yaratmayan (israf) işlemleri açığa çıkarılmaya çalışılır. Prosesler üzerinde teker teker değil bütün halinde çalışılarak, sadece parçalar değil, bütünü iyileştirmeyi amaçlar. Değer akış haritalamada izlenilecek yol şöyledir: Ürünün akış yolu müşteriden başlanarak tedarikçiye kadar incelenir. Akışta yer alan bütün prosesler semboller kullanılarak çizilir. Daha sonra çıkarılmış durum haritasına bir takım

kritik sorular sorularak olması gereken akış belirlenip gelecek durum haritası çıkarılır (Birgün ve ark., 2006).

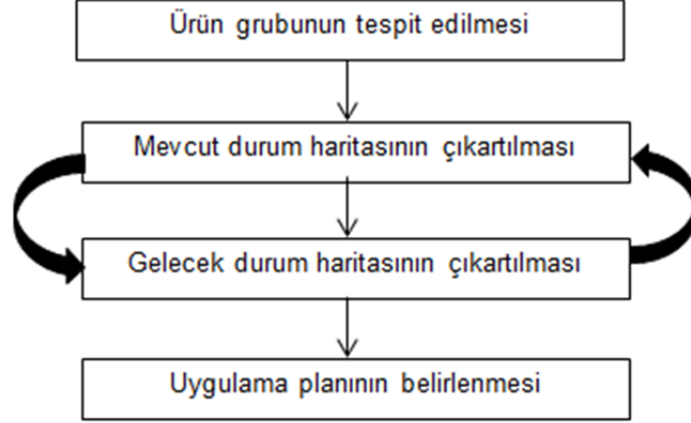
Değer akış haritalama yöntemi, bir kuruluştaki proses akışına bütünsel bir bakış açısı elde etmek için basit ama çok etkili bir yöntemdir. Mevcut durum analizine odaklanılarak hedef değer akışları planlanır ve uygulanır (Edtmayr ve ark., 2016).

Değer akış haritalama, yalın üretim sisteminde kayıpları minimize etmek ve süreçlerde iyileştirmeler sağlamak için kullanılır (Doğan ve Ersoy, 2016).

Değer akış haritalama, değer yaratmak için kullanılan güçlü bir yalın üretim aracıdır. Katma değerli ve katma değeri olmayan her basamağı göstererek imalat sürecinin görsel bir görüntüsünü veya yol haritasını oluşturur. Bu adımlar, müşteri siparişinden teslimata kadar maliyet, işlem süresi ve diğer faktörlerden oluşur. Malzeme, bilgi ve işlem akışı arasında bir bağlantı oluşturur (Ahmad ve ark., 2018).

Değer akış haritalama bir sistemin mevcut durumunu tanımlamak ve katma değerlerin nereye eklendiğini görselleştirmek için tasarlanmış bir yöntemdir (Nafors ve ark., 2018).

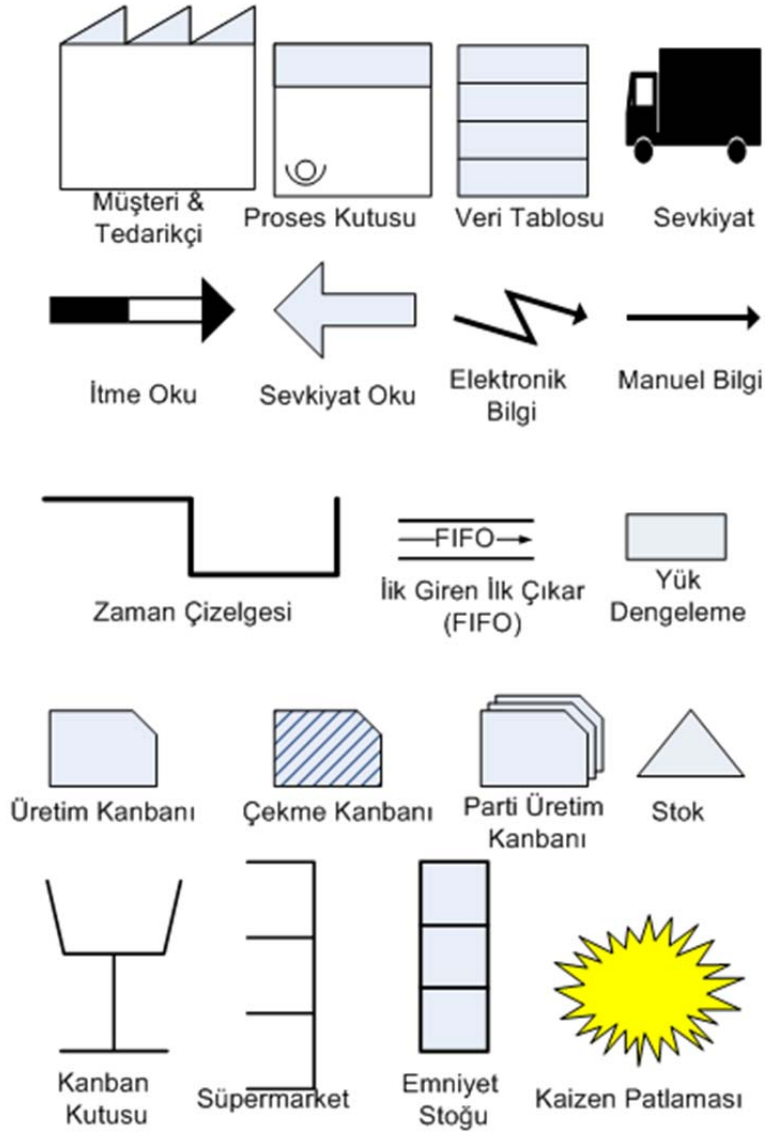
Değer akış haritalama yöntemini uygulama esnasında izlenecek adımlar Şekil 1.2’de yer almaktadır. İlk aşamada değer akış haritasına konu olan ürün grubu belirlenirken ikinci aşamada mevcut durum için harita çıkartılmaktadır. Mevcut durum haritası kullanılarak iyileştirilmesi gereken durumlar ve gerçekleştirilecek iyileştirmeler de belirlendikten sonra üçüncü aşamada gelecek durum haritası oluşturulur. Son aşama ise gelecek durum haritasından yola çıkılarak uygulama planlarının oluşturulduğu aşamadır (Doğan ve Ersoy, 2016).



Şekil 1.2. Değer akış haritalama süreç adımları (Doğan ve Ersoy, 2016)

Şekil 1.3'te değer akış haritalama yönetiminde kullanılan bazı şekiller ve isimleri yer almaktadır. Bu şekillerin bazıları Doğan ve Ersoy (2016) ve Adalı ve ark. (2017)'da da yer almaktadır.

Kaizen patlaması değer akış haritalamanın güncel ve gelecek durumunu geliştirme aşaması boyunca iyileştirme fikirlerini üretmede kullanılan yalın üretim araçlarıdır (Ahmad ve ark., 2017).



Şekil 1.3. Değer akış haritalama şekilleri (Doğan ve Ersoy (2016); Adalı ve ark (2017))

1.3. Çizelgeleme

Atölye tipi üretim sistemlerinde çizelgeleme konusu, genel olarak, işlerin sıralaması ve makine kapasiteleri gibi çeşitli kısıtların dikkate alınarak belirli

sayıda işin belirli sayıda makinelerde işlenebilmesi problemine optimum bir çözüm aramaktadır (Şevkli ve Yenisey, 2006).

Çizelgelemedeki en önemli ölçütlerden bazıları toplam tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme ile ilgili olanlardır. Toplam tamamlanma zamanının minimum yapılabilmesi yarı ürün stok seviyelerini azaltma açısından da önemlidir. Gecikme kriterini minimum yapabilmek ise gecikmeden kaynaklı olan cezaları azaltmak açısından önemlidir (Eren ve Güner, 2006).

Tek makine çizelgeleme probleminde, bağımsız işlerin tek bir makinede işlenebildiği durum söz konusudur. Bütün işler son teslim zamanında veya daha önce tamamlanmış olmalıdır. Gecikmiş işlerin olmaması gerekmektedir. Bu tarz çizelgeleme problemleri genellikle gecikme maliyetlerinin çok yüksek olduğu durumlar veya tam zamanında üretim gibi gecikme toleransına izin verilmeyen durumlar gibi koşullarda görülebilir (Pathumnakul ve Egbelu, 2005).

Atölye tipi üretim sistemlerinin çizelgelenmesi problemleri için çözüm yöntemleri olarak dal-sınır algoritması gibi optimum çözümü sağlayan algoritmalar ya da sezgisel veya meta-sezgisel yöntemler kullanılabilmektedir. Problem boyutu büyüdüğünde çözüm süresi uzayabileceğinden sezgisel veya genetik algoritmalar, tavlama benzetimi ve tabu arama algoritmaları gibi meta-sezgisel yöntemler kullanılabilmektedir (Şevkli ve Yenisey, 2006).

1.4. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Bu çalışmada, ilk olarak mevcut makine ve ekipmanların etkin kullanımını sağlamak için hat performanslarının artırılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle, toplam ekipman etkinliği ve değer akış haritalama çalışmaları ile süreç akışında yer alan zayıf noktalar analiz edilerek iyileştirme çalışmalarının yapılacağı alanlar belirlenmiştir. Beş adımlı problem çözme tekniği kullanılarak mevcut problem analiz edilip nedeni tespit edilerek kapasite arttırıcı çözüm yöntemleri önerilmiştir. Yapılan iyileştirme çalışmalarının makine çizelgeleme problemlerinde gecikme süresine etkisi görmek için mevcut durum kapasiteleri ve iyileştirilmiş kapasiteler

kullanılarak matematik programlama modeli geliştirilmiştir. Hat performanslarının artırılmasıyla makine kapasiteleri kısıtı altında matematik programlama modeli ile siparişlerin gecikmesiz olarak tamamlanması ve Gantt şemasında gösterimi sağlanmıştır.

1.5. Çalışmanın Adımları

- **Problemin tanımlanması:** Atölye tipi üretim sistemleri için toplam ekipman etkinliği ve değer akış haritalama teknikleri kullanılarak kayıplar analiz edilip kapasiteler iyileştirilmektedir. Daha sonra matematik programlama modeli sunularak Gantt şeması ile çizelgeleme yapılmaktadır.
- **Literatür araştırması:** Toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama ve çizelgeleme ile ilgili detaylı bir literatür araştırması yapılmaktadır.
- **Materyal ve metot:** Bu bölümde, toplam ekipman etkinliği ve değer akış haritalama teknikleri kullanılarak kapasiteler iyileştirilmektedir. Bir matematik programlama modeli ile de Gantt şeması üzerinde çizelgeleme yapılmaktadır.
- **Bulgular ve tartışma:** Bu bölümde, materyal ve metot bölümünde belirtilen teknikler ve matematik modelin uygulanması ve sonuçların belirlenmesi aşamadır.
- **Sonuçlar ve öneriler:** Çalışmanın literatüre olan katkısı incelenerek, bundan sonraki çalışmalarda geliştirilecek yöntemler için önerilerde bulunmaktadır.

1.6. Çalışmanın Organizasyonu

Birinci bölümde, tez çalışmasında kullanılan yöntemler hakkında bazı genel bilgiler yer almaktadır. Toplam ekipman etkinliği ve ilgili denklemlerine,

değer akış haritalama ile ilgili süreç adımları ve kullanılan sembollere ve üretim sistemlerinde çizelgeleme hakkında genel bilgilere değinilmektedir.

İkinci bölümde, tez konusu kapsamındaki literatür çalışmaları yer almaktadır. Önceki çalışmaların genel değerlendirmesi yapılarak bu çalışmaların toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama ve çizelgeleme ile ilgili olarak gruplandırılması yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, kullanılan materyal ve metot hakkında bilgilendirme yapılmıştır. İncelenen problem için kullanılan yöntemler detaylı olarak anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde, çalışmada yer alan yöntemlerin uygulaması yapılmaktadır. Son bölümde ise çalışmanın özeti yapıldıktan sonra çalışmanın sonuçları maddeler halinde belirtilmektedir. Ayrıca, bu bölümde gelecek çalışmalar için önerilerde de bulunmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Toplam Ekipman Etkinliği İle İlgili Önceki Çalışmalar

Temiz ve ark (2010), çalışmalarında, bir döküm fabrikasında toplam ekipman etkinliğinin kullanılmasından ve ekipmanların etkinliğini raporlayabilen bir bilgi sisteminden bahsetmektedirler.

Relkar ve Nandurkar (2012) toplam ekipman etkinliğini ekipmanların etkinliğinde önemli performans ölçüm tekniği olarak kullanmışlardır. Otomobil parçalarının üretiminde kritik olan makinelerin toplam ekipman etkinliğinin ölçümü ve analizi ile ilgilenmişlerdir. Çalışmalarında regresyon analizi ve deneysel tasarım gibi tekniklerden faydalanılmıştır.

Koçak (2015), çalışmasında, imalat süreçleri performans hesaplamalarında kullanılabilen performans kriterlerini incelemiştir. Çalışmada birçok performans ölçütünden bahsedilmektedir. Bunların temelini ise toplam ekipman etkinliği ölçütü olduğu belirtilmektedir. Performans ölçütleri arasında birtakım farklılıklar olsa da, hepsinin ana amacı kayıpları hesaplayarak kapasite kaybını ve üretim performansını yönetebilmektir.

Korski ve ark (2017), çalışmalarında, bir taş kömürü endüstrisinde sert kömür madenlerindeki üretim sürecinin değerlendirilmesi için toplam ekipman etkinliği göstergesinin olası sonuçlarından bahsetmişlerdir. Toplam ekipman etkinliği kullanılarak maden makinelerinin etkinliğini değerlendirmek için önerilerde bulunulmuştur.

Saleem ve ark (2017), çalışmalarında, bir lastik imalat endüstrisinde duruş süresini ve bakım maliyetlerini en aza indirmek ve üretim hızını arttırmak için toplam ekipman etkinliğini kullanmışlardır. Arıza modu ve etki analizi tekniği ile süreçlerde tekrarlayan hataların temel nedenleri tespit edilmiştir. Tespit edilen tekrarlayan hataların analiz edilmesinden ve giderilmesinden sonra toplam ekipman etkinliği değerinde bir artış gözlemlenmiştir.

Duran ve ark (2018), çalışmalarında, üretim sistemlerinde sürdürülebilirliğin ve çıktı performansının kapsamlı ve sistematik bir ölçümü için yeni bir endeks olarak sürdürülebilir genel verimlilik etkinliğini önermişlerdir. Bu endeks kullanılabilirlik, kullanım, performans ve çevresel sürdürülebilirlik faktörlerini içermektedir. Toplam ekipman etkinliğine dayanan genel çevresel ekipman etkinliği endeksi kullanılmıştır.

Yazdi ve ark (2018), çalışmalarında, sistemlerin sürdürülebilirliğinin de göz önünde bulundurularak toplam ekipman etkinliği oranını arttırmak için çözülmesi ve optimize edilmesi gereken hususlardan bahsetmişlerdir. Bu hususları tanımlamada toplam ekipman etkinliğini değerlendirmek üzere zamana dayalı bir yöntem uygulamışlardır.

Braglia ve ark (2019), çalışmalarında, hedef görev zamanlarının tanımlanmasına ve manuel montaj faaliyetlerinde görülebilen gizli kayıpların tanımlanmasına yardımcı olabilecek bir yalın metrik olarak genel görev etkinliğini önermişlerdir. Kayıplar sınıflandırılarak manuel montaj görevlerinin etkinliğinin tespitinde toplam ekipman etkinliğinden ilham alarak ortaya çıkan bu teknik kullanılmıştır.

Tsarouhas (2019), çalışmasında, bir üretim hattında toplam ekipman etkinliği değerlendirmesini kullanarak bakım gelişimi ile ilgili stratejiler geliştirilmeyi hedeflemiştir. Çalışmada hattın arıza ve onarın verileri analiz edilmiştir. Arıza verileri 15 aylık süreci kapsamaktadır. Toplam ekipman etkinliği analizi, kullanılabilirlik, performans ve kalite ile ilgili temel sorunların tespit edilmesine yardımcı olmaktadır. Çalışma, etkin bir bakım stratejisi yoluyla hattın kritik noktalarını tanımlayan bir toplam ekipman etkinliği değerlendirmesi sunmaktadır.

2.2. Değer Akış Haritalama İle İlgili Önceki Çalışmalar

Haefner ve ark (2014) kalitede değer akış haritalama yöntemini kullanmışlardır. Geliştirilen kalite değer akış haritalama metodu üretime dair

proses zincirinin içerisinde kalite güvence ölçütlerinin görselleştirilmesi, analizi ve tasarımı için uygundur. Çalışmanın modeli, hazırlık, kalite değer akış analizi, kalite değer akış dizaynı ve uygulama şeklinde dört aşamadan oluşmaktadır.

Bulut ve Altunay (2016)'nın çalışmalarında, üretim sürecini daha verimli hale getirebilmek için israfları ortadan kaldırmaya odaklanan bir yalın üretim tekniği olan değer akışı haritalandırma yöntemi kullanılmıştır. Mobilya işletmesinde bu yöntemle üretim süreçleri incelenmiş ve iyileştirilmesi gereken noktalar belirlenmiştir. Yapılacak iyileştirmelerden elde edilecek kazanç miktarları hesaplanmıştır. Yapılan iyileştirmelere ilave olarak bundan sonraki süreçte, hazırlık sürecine odaklanılarak birtakım önlemler geliştirilerek daha büyük kazanımların elde edilebileceği önerilmiştir.

Doğan ve Ersoy (2016) bir üniversitenin araştırma ve uygulama merkezinde değer akış haritalama yöntemini kullanmışlardır. Böylece, değer yaratan ve israf olarak adlandırılan değer yaratmayan faaliyetleri tespit ederek israfları minimize etmeyi amaçlamışlardır. Belirlenmiş olan hizmet ailesi için mevcut durum haritasını çizerek değer yaratan ve yaratmayan faaliyetleri tespit etmişlerdir. Bundan sonraki süreçte, israfları minimize edebilmek için gelecek durum haritası çizmişlerdir. Çalışma sonucunda, işlem süresinde %59 azalma sağlanması gibi bazı iyileştirmeler sağlanmıştır.

Kılıç ve Ayvaz (2016) bir otomotiv yan sanayinde yalın üretim analizi yapmışlardır. Değer akış haritalama, kaizen, 5S, SMED, kalite çemberi gibi birçok teknikten yararlanmışlardır. Var olan israfın belirlenmesinde ve gelecek durumların oluşturulmasında değer akış haritalama kullanılmıştır.

Eser ve Yıldız (2017) bir denim firmasında paketleme bölümü için katma değer sağlamayan faaliyetleri belirlemek için değer akış haritalama yöntemi kullanmışlardır. Mevcut durum analizi çıkarılarak, yalın teknikler ile gelecek durum haritası oluşturulmuştur. Bu teknik kaynakların optimum kullanılmasını amaçlayarak, süreç sayısında ve akış süresinde iyileştirmeler elde edilerek verimlilik artışı sağlanmıştır.

Antonelli ve Stadnicka (2018), çalışmalarında, fabrika simülasyonunu ve değer akış haritalama yöntemlerini kullanmışlardır. Değer akış haritalama, uzun teslim zamanları ve katma değer yaratmayan faaliyetler nedeniyle oluşabilen yönetim problemlerinin belirlenmesini sağlar. Çalışmada önerilen gelecek durum haritasında etkin iyileştirmeler ve optimum performans ölçümleri elde etmişlerdir.

Güzel ve ark (2018), çalışmalarında, bir tekstil işletmesinde verimliliği arttırmak için yalın üretim araçlarından, değer akış haritalama tekniğini kullanmışlardır. Ayrıca, 5S tekniğinden faydalanılarak ayar sürelerini azaltmayı ve verimliliği arttırmayı hedeflemişlerdir. Değer akış haritalamada gelecek durum haritası ile toplam ayar süresinde büyük bir iyileşme sağlanmıştır.

2.3. Çizelgeleme İle İlgili Önceki Çalışmalar

Pathumnakul ve Egbelu (2005) tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. İnceledikleri problemde her bir işin sıfır zamanda mevcut olduğu ve teslim süresinde ya da daha önce tamamlanması gerektiği koşulları bulunmaktadır. Bu problemin çözümü için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.

Eren ve Güner (2006) iki paralel makinalı üretim sistemindeki çizelgeleme konusunu ele almışlardır. Amaç tamamlanma süresini ve gecikmeyi minimize etmektir. Çalışmada hem tamsayı bir programlama modeli hem de büyük boyutlu problemler için rassal arama ve tabu arama yöntemleri önerilmiştir. İlerdeki çalışmalar için daha fazla makinalı sistemlerde farklı kriterlerin de olduğu çizelgeleme problemlerinin incelenebileceğine değinilmiştir.

Pathumnakul ve Egbelu (2006) hem işleme hem de montaj işlemlerini içeren bir montaj-atölye tipi üretim sisteminde çizelgeleme problemi ile ilgilenmişlerdir. Ayrıca, çalışmada, her ürünün, nihai ürünü oluşturmak için kullanılan bileşenlerden ve alt montajlardan oluşan bir ağaç yapısına sahip olduğu dikkate alınmaktadır. İnceledikleri bu problemin çözümü için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.

Zeydan (2006)'nın çalışmasında, tek makine çizelgeleme konusu incelenmiştir. Ayrıca, her iş için elde tutma maliyetleri birbirlerinden farklı olduğundan, bu maliyetleri hesaplayarak maliyet tabanlı çizelgeleme yapılmıştır. Bu yöntem maliyetlerin kritik olduğu noktalarda yöneticilerin karar vermelerinde yardımcı olmaktadır.

Fattahi ve ark (2007)'nin çalışmalarında çizelgeleme problemi için matematik model ve sezgisel yaklaşımlar dikkate alınmaktadır. Gerçek boyutlu problem çözümünde bütünsel ve hiyerarşik yaklaşımları içeren iki sezgisel yaklaşım sunulmuştur. Ayrıca, kullanılan arama yaklaşımı ve sezgisel yöntemlere bağlı olarak altı farklı melez arama yapısı sunulmaktadır.

Jia ve ark (2007)'nin çalışmalarında, işleri üretmek için süreç planları belirlemek ve bu arada operasyon çizelgelerini oluşturmak için bir yaklaşım sunulmaktadır. Süreç planlarını ve çizelgeleri elde etmek için Gantt şeması ile entegre bir genetik algoritma önerilmiştir. Bu entegrasyonun, dağınık bir üretim sistemi için küçük boyutlu veya orta ölçekli çizelgeleme problemlerini çözmede etkili olduğu belirtilmiştir. İş gecikmesini veya üretim maliyetini en aza indirmek gibi çeşitli hedeflere ulaşılabilir. Önerilen yaklaşımın performansını göstermek ve değerlendirmek için bir örnek verilmiştir.

Saraç ve Sipahioğlu (2008)'nin çalışmalarında, enjeksiyonla plastik parça üretimi yapan makinaların çizelgelenmesi problemi incelenmiştir. Enjeksiyon makinaları özdeştir fakat kullanılan kalıplar tonaj ve boyut olarak farklılık göstermektedir. Klasik paralel çizelgeleme problemlerinden farklı olarak, kalıp kullanımlarını da dikkate alan bu çalışmada çizelgeleme problemi için matematik bir model geliştirilmiştir. Büyük boyutlu problemler için sezgisel algoritmaların geliştirilmesi önerilmiştir.

İşler ve ark (2009) çizelgeleme için önemli olabilen erken veya geç tamamlanma ölçütünü ve öğrenme etkisi durumunu dikkate alarak bir literatür değerlendirme çalışması yapmışlardır.

Moslehi and Mahnam (2011)'nın çalışmalarında da belirtildiği gibi atölye tipi çizelgeleme problemleri en zor kombinasyonel optimizasyon problemlerden biridir. Bu çalışmada, çok amaçlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemini çözmek için parçacık sürü ve lokal arama algoritmasının melezine dayanan bir yaklaşım sunulmaktadır. Sunulan yaklaşım, benzer algoritmalar için bildirilen sonuçlara karşı etkinliği açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, önerilen algoritmanın iyi bir şekilde çok amaçlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemini yakaladığını ve benzer yaklaşımlarla iyi rekabet ettiğini göstermektedir.

Koçanlı ve ark (2012)'nin çalışmalarında, üretim tesislerinde ürünlerin hatlarda hangi sıra ile üretileceğine karar verildiği çizelgeleme problemi incelenmiştir. Çok amaçlı yapıdaki ve özel kısıtlı problem için analitik çözümü veren hedef programlama modeli önerilmiştir. Çok boyutlu problemler için genetik algoritma geliştirilmiştir.

Karimi ve ark (2017)'nin çalışmalarında, bir işin bir makinede tamamlanmasının ardından bir başka makineye taşınması gerektiğinde aslında bunun zaman aldığından ve bu ulaşım sürelerinin literatürde ihmal edildiğinden bahsedilmiştir. Bu çalışmada makineler arasındaki taşıma süreleri esnek atölye tipi çizelgeleme problemine dâhil edilmiştir. Problemi iki karışık tamsayılı doğrusal programlama modeliyle matematiksel olarak formüle edip, bu problemi çözmek için tavlama benzetimi ve yerel arama tabanlı bir algoritmanın uyarlanması önerilmiştir.

Yazdani ve ark (2017)'nin çalışmalarında, maksimum erken ve geç tamamlanma kriterlerinin toplamı atölye tipi çizelgeleme problemi için bir amaç fonksiyon olarak dikkate alınmaktadır. Bu amaç fonksiyonlu çizelgeleme problemi için karışık tamsayılı doğrusal programlama formülasyonu geliştirilmiştir.

Knapczyk ve ark (2018), çalışmalarında, üretimdeki iş süreçlerini çizelgelemeyi destekleyen bir algoritma geliştirmişlerdir. Tasarlanan algoritma bir iş sırası oluşturma işlemini 6 adımda gerçekleştirmektedir. Bu adımlar, çizelgeleme

türünü seçmek, sıra uzunluğunu bildirmek, siparişleri seçmek, veri yüklemek, otomatik iş analizini ve Gantt şemasını oluşturmak şeklindedir.

Liu ve ark (2018), çalışmalarında, beklemesiz, tamponsuz, sınırlı tamponlu ve sınırsız tamponlu şeklinde dört tamponlama kısıtının olduğu atölye tipi çizelgeleme sistemini optimize etmek için yeni bir çizelgeleme problemi incelemişlerdir. Kritik problem özellikleri Gantt çizelgeleri ile analiz edilmiştir. Karışık tamsayılı bir programlama modeli formüle edilmiş ve etkili bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Meng ve ark (2018), çalışmalarında, yapısal metal üretim tesisinde toplam tamamlanma süresini en aza indirmeyi amaçlayan iki aşamalı bir çizelgeleme problemini ele almışlardır. Birinci aşamada, klasik atölye çizelgelemeye göre işlenen parçalar ikinci aşamada tekli yapı bileşeni olarak gruplandırılmıştır. Çalışmalarında toplam üretim süresini minimuma indirmek için yeni bir matematik model oluşturulmuştur. Bu iki aşamalı problemin çözümü için harmoni arama algoritması sunulmaktadır. Gantt çizelgeleri ile optimal çözümler gösterilmiştir.

Pandian ve Soltysova (2018), çalışmalarında, müşteri gereksinimlerini karşılayan esnek çizelgeler oluşturma amacıyla bir prosedür sunmuşlardır. Prosedürü geliştirmek için sezgisel bir yaklaşım ve teslim tarihlerini karşılamak için işlerin atanmasında Gantt çizelgeleri kullanılır.

Xie ve Chen (2018) çalışmalarında, kompleks ürünlerin üretim sürecinde, işlerin işlem sürelerinin her zaman doğru olarak verilemeyeceğini belirterek atölye tipi çizelgeleme probleminde belirsiz işlem sürelerini dikkate alan bir model ve algoritma sunmuşlardır.

2.4. Bazı Teknikleri Birlikte İnceleyen Çalışmalar

Kumar ve ark (2014) toplam ekipman etkinliği tekniğini kullanarak makinaların performansını, ekipmanların verimliliğini ve kalite oranını arttırmayı amaçlamaktadır. Üretim planlamada çizelgeleme aşamasında bu yöntemi

kullanarak standart ürünlerin kurulum süreleri azaltılmakta ve makinelerin performansları arttırılabilmektedir.

Dadashnejad ve Valmohammadi (2019), çalışmalarında, değer akış haritalama ile tespit edilen iyileştirmelerin toplam ekipman etkinliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın bulguları, toplam ekipman etkinliği metriğinin, değer akış haritalamanın tanımlanmış iyileştirmelerinden olumlu ve önemli derecede etkilendiğini göstermektedir. İyileştirme fırsatlarını inceleyip gerekli olan değişiklik ve düzeltmeleri uygulayarak üretim sürecinin doğrudan iyileştirilebileceği vurgulanmıştır.

2.5. Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi

Bu bölümde belirtilen literatürde tez konusu kapsamındaki çalışmalar analiz edildiğinde görülüyor ki, toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama ve matematik model kullanılarak Gantt şeması ile çizelgeleme konuları genel olarak tekli olarak kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda bu yöntemlerden bazıları birlikte kullanılarak ta iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. İncelenen çalışmaların bu konulara göre dağılımı Çizelge 2.1'deki gibidir.

Bu çalışmanın farkı toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama ve çizelgeleme konularının tamamının bir arada olduğu bir çalışmaya rastlanılmamasıdır. Toplam ekipman etkinliği ile hat verimlilikleri hesaplanmış, verimliliği düşük olan hat için değer akış haritalama yöntemiyle iyileştirme çalışmalarının yapılacağı alanlar belirlenmiş, sonrasında iyileştirilmiş kapasiteler ile matematik programlama modeli ile çizelgeleme yapıp Gantt şemasında gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatür çalışmalarının konu bazında dağılımı

Çalışmalar	Toplam ekipman etkinliği	Değer akış haritalama	Çizelgeleme
Temiz ve ark (2010); Relkar ve Nandurkar (2012); Koçak (2016); Korski ve ark (2017); Saleem ve ark (2017); Duran ve ark (2018); Yazdi ve ark (2018); Braglia ve ark (2019); Tsarouhas (2019);	X		
Kumar ve ark (2014)	X		X
Haefner ve ark (2014); Bulut ve Altunay (2016); Doğan ve Ersoy (2016); Kılıç ve Ayvaz (2016); Eser ve Yıldız (2017); Antonelli ve Stadnicka (2018); Güzel ve ark (2018);		X	
Dadashnejad ve Valmohammadi (2019)	X	X	
Pathumnakul ve Egbelu (2005); Eren ve Güner(2006); Pathumnakul ve Egbelu (2006); Zeydan (2006); Fattahi ve ark (2007); Jia ve ark (2007); Saraç ve Sipahioğlu (2008); Moslehi and Mahnam (2011); Koçanlı ve ark (2012); Karimi ve ark (2017); Yazdani ve ark (2017); Knapczyk ve ark (2018); Liu ve ark (2018); Meng ve ark (2018); Pandian ve Soltysova (2018); Xie ve Chen (2018)			X



3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, bir rafine yağ üretim prosesi için toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama, matematik programlama modeli ve Gantt şeması yardımı ile çizelgeleme çalışmasının nasıl yapıldığı anlatılmaktadır. Matematik programlama modeli için Lingo 18.0 optimizasyon programı kullanılmaktadır. Gantt şeması gösterimleri ileride Bulgular ve Tartışma Bölümünde de bahsedilerek eklerde yer almaktadır. Bu bölümde, ayrıca, bir rafineri ünitesi sürecine sahip bir firmanın üretim prosesi de süreçlerin anlaşılabilmesi açısından gözlemlenmiştir. Ham yağdan rafine yağ elde etme prosesi süreç adımları genel olarak aşağıdaki gibidir:

- Nötralizasyon: Tortu gibi yağda istenmeyen maddeler uzaklaştırılır.
- Ağartma: Ağartma toprağı kullanılarak yağın rengi açılır.
- Vinterizasyon: Soğutma işlemi yapılır.
- Deodorizasyon: Yağda istenmeyen kötü koku ve tat giderilir.

3.1. Rafineri Ünitesi Duruş Ana ve Alt Kalem Kayıpları

Rafineri ünitesinde kapasite kaybına sebep olan duruşlar için ana ve alt kalemlerin kırılımı Çizelge 3.1'deki gibidir. Bu kırılım belirlenirken rafineri ünitesi sürecine sahip bir firmanın proses akışı da gözlemlenerek arıza, başlama, hız, ikmal bekleme, kapatma planlı duruş, kapatma plansız duruş ve yeniden işleme ana kalemlerinin alt detayına inilmiştir.

Çizelge 3.1. Rafineri ünitesi duruş ana ve alt kalem kırılım tablosu

ANA KALEM	KAYIP ALT KALEMİ
Arıza	Temiz kule arızası
	Kirli kule arızası
	Buhar kaçağı
	Şebeke kesintisi - plansız
	Pompa arızası
	Elektrik arızası
	Ana şartel arızası
	Seperatör arızası
	Pnomatik vana arızaları
	Manometre ve termoelement arızası
	Chiller grubu arızaları
	Otomasyon kontrol sistem arızaları
	Hatlarda yağ ve kimyasal kaçakları
	Ağartma filtre kaset tıkanması
	Boiler arızası
	Dozaj pompa arızası
Başlama	Proses devreye alma
Hız	Kostik kalitesizliği
	Asit kalitesizliği
	Ağartma toprağı kalitesizliği
	Yüksek FFA
	Düşük FFA
	Yüksek renk
	Düşük renk
	Ham yağ kalitesizliği
	Chiller grubu arızaları
	Ağartma proses arızası
	Vinterize toprak kalitesizliği

Çizelge 3.1.'in devamı

İkmal bekleme	Buhar basıncının düşmesi
	Enstrüman havasının kesilmesi
	Ham yağ kalitesizliği
	Ham yağ stok yetersizliği
Kapatma planlı duruş	Eğitim
	Resmi tatil
	Planlı bakım
	Sayım için planlı duruş
	Şebeke kesintisi - Planlı
	Hat kapatma
	Deodorize CIP
Kapatma plansız duruş	Tank kapasite aşımı - Stok fazlası
	Kalite blokajı
Yeniden işleme	Çapraz kontaminasyon
	Düşük FFA

3.2. Rafineri Ünitesi Toplam Ekipman Etkinliği

Rafineri ünitesi için üretim ve duruş verilerinden faydalanılarak toplam ekipman etkinliği analizi yapılmaktadır. Bunun için Bulgular ve Tartışma Bölümünde bahsedileceği üzere ürün bazlı gerçekleşen süreler, teorik süreler ve duruş sürelerinin kırılımları özet tablolar halinde Ek 2 ve 3'te gösterilmektedir. Duruş sürelerinin yüksek olduğu ve toplam ekipman etkinliği sonucunun düşük olduğu durumlar ürün iyileştirme çalışmalarının başlangıç noktası olarak belirlenmektedir.

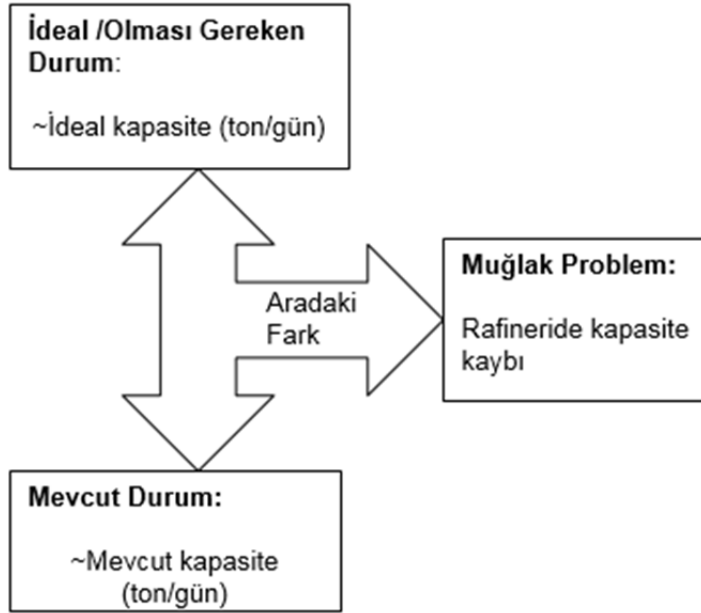
3.3. Rafineri Ünitesi Değer Akış Haritalama

Rafineri ünitesi prosesleri için mevcut durum haritası çizilir. Mevcut durum haritası analiz edilerek olması hedeflenen gelecek durum haritası çizilir. Gelecek durum haritasına ulaşmak için beş adımlı problem çözme tekniğinden yararlanılmış olup bu adımlar aşağıdaki gibidir.

- 1. Adım: Problemi tanımlama
- 2. Adım: Problemi parçalara ayırma
- 3. Adım: Hedef belirleme
- 4. Adım: Kök-neden analizi
- 5. Adım: Karşı önlemler geliştirme

3.3.1. Problemi Tanımlama

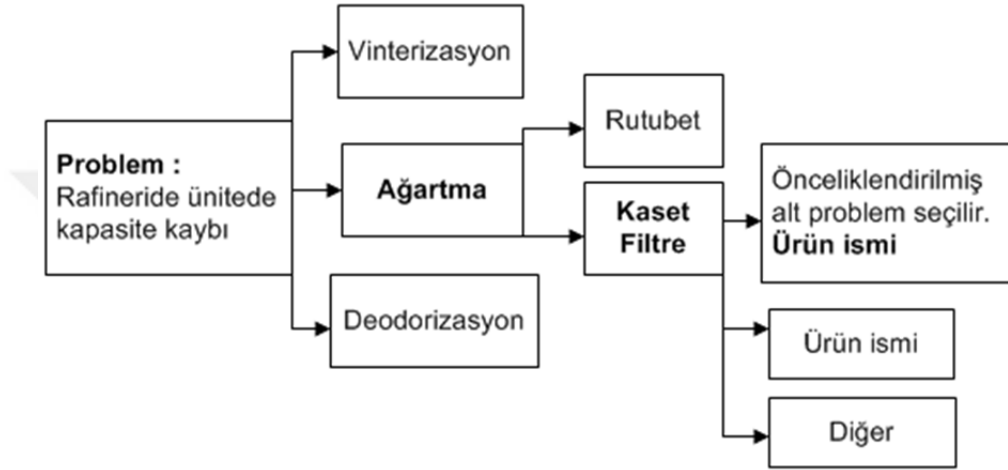
Rafineri ünitesinde nihai hedef, mevcut kaynaklarla tüm ürünlerde daha yüksek kapasitede üretim yapmaktır. Şekil 3.1’de mevcut ve ideal durum arasındaki fark olan kapasite kaybı muğlak problem olarak belirlenmektedir.



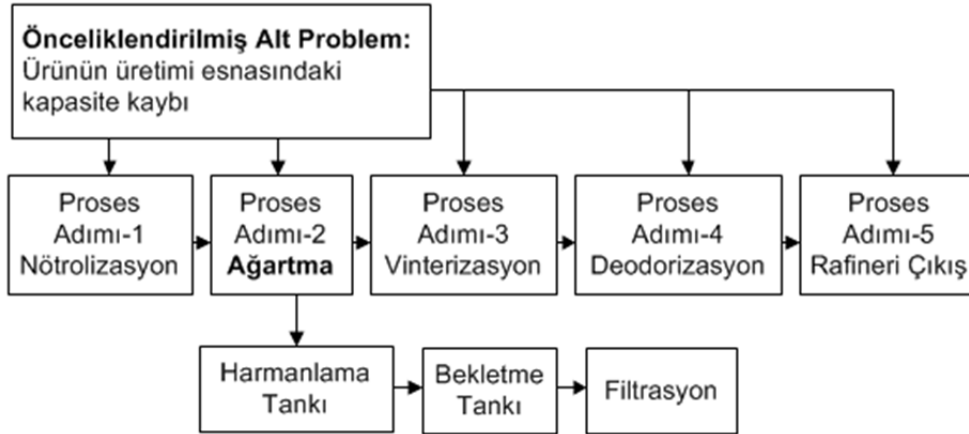
Şekil 3.1. Rafine ünitesinde muğlak problem

3.3.2. Problemi Parçalara Ayırma

Şekil 3.2’de belirlenmiş olan problem parçalara ayrılarak önceliklendirilmiş alt problem tespit edilmektedir. Şekil 3.3’te önceliklendirilmiş alt problemin gerçekleştiği nokta belirlenmektedir.



Şekil 3.2. Rafineri ünitesinde problemi parçalara ayırma



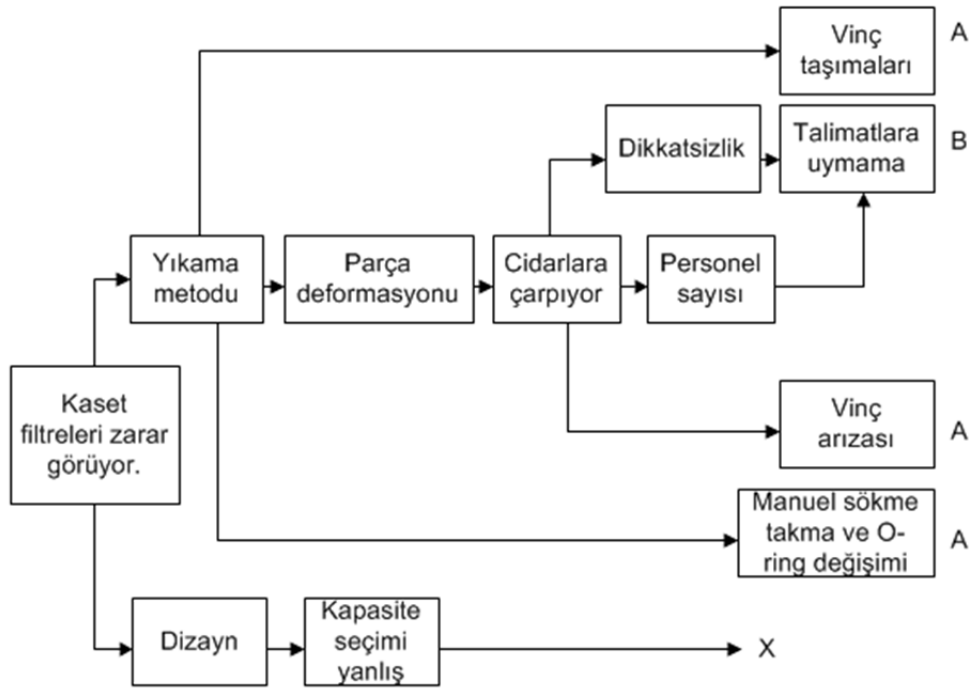
Şekil 3.3. Rafineri ünitesinde önceliklendirilmiş alt problem

3.3.3. Hedef Belirleme

Şekil 3.3.'te görüldüğü gibi önceliklendirilmiş alt problemde ağartma kaset filtrelerinde yerinde yıkama sistemi ile kapasite kaybının düşürülmesi hedeflenmektedir.

3.3.4. Kök-Neden Analizi

Önceliklendirilmiş alt problem için kök neden analizi yapılarak kök nedenler belirlenmektedir. Şekil 3.4'te belirlenmiş kök nedenler yer almaktadır. A öncelikli olarak çözüm bulunması gereken nedenleri, B ikincil incelenmesi gereken nedenleri ve X çözümü olmayan nedenleri göstermektedir.



Şekil 3.4. Rafineri ünitesi probleminin kök neden analizi

3.3.5. Karşı Önlemler Geliştirme

Ek 1’de rafineri ünitesinde 4.Adım’da belirlenen kök nedenler için geliştirilen karşı önlemler yer almaktadır. Karşı önlemler için sorumlular atanmış, etki, maliyet ve uygulama kolaylığı baz alınarak öncelikler belirlenerek termin tarihleri verilmiştir.

Çizelge 3.2’de rafineri ünitesinde eski sistem kaset filtre yıkama sistemi ve yeni yerinde yıkama sistemi karşılaştırması yer almaktadır. Yerinde yıkama sisteminin avantajları da tabloda belirtilmektedir.

Çizelge 3.2. Eski yöntem kaset filtre yıkama ve yeni yerinde yıkama sisteminin karşılaştırılması

Eski Yöntem Yıkama Sistemi	Yerinde Yıkama Sistemi
16-24 saatlik yıkama süresinden dolayı filtrelerden biri yıkanırken süzme problemi yaşamamak için kapasite düşülür.	3-4 saatlik yıkama süresi avantajı kapasite düşüşüne engel olmaz.
Yıkama esnasında yıkama teknesinde taşma-köpürme sorunları nedeniyle boiler cihazına zarar verme olasılığı bulunur.	Filtrede yıkanması bu sorunu ortadan kaldırmıştır.
Hassas ve küçük gözenekli yapıya sahip filtre plakaları vinç ile taşıma esnasında hasar görebilir. Hasar gören plakalar tekrar kullanılamazlar.	Taşıma işlemi olmaması bu riski ortadan kaldırıyor.
Yıkama teknesinin kapasitesi yaklaşık olarak 10 tondur. Her yıkama esnasında doldurulması su, kostik, asit maliyetini arttırmaktadır.	Filtrenin kapasitesi yaklaşık olarak 500 kg almaktadır. Daha az kimyasal tüketimi olmaktadır.
Nötralize işlemi için sitrik asit kullanılır.	Nötralize işlemi için fosforik asit kullanılmaktadır.
Her yıkama işleminde bu işleme has bir parça değiştirilir.	Her yıkamada parça değiştirme ihtiyacı duyulmaz.
Her yıkamada 2 veya 3 personel uzun süre görevlendirilir.	Yıkama yapılırken 1 personel görevlendirilir.
İyi renk açması ve süzmenin kolaylaştırılması için Tonsil 210 kullanılır.	Tonsil 254 kullanılmaktadır

3.4. Rafineri Ünitesi Çizelgeleme

3.4.1. Rafineri Ünitesi Siparişleri

Bu bölümde, rafineri ünitesi ürünleri için siparişler ve teslim zamanları dikkate alınır. Toplam ekipman etkinliği neticesinde hat verimlilikleri tespit edilmiştir. Verimliliği düşük olan üründe değer akış haritalama kullanılarak iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Gecikme süresinin minimizasyonunu dikkate alan çizelgeleme problemi için mevcut durum kapasiteleri ve iyileştirilmiş kapasiteler kullanarak matematik programlama modeli geliştirilir. Böylelikle iyileştirme çalışmalarının çizelgeleme üzerindeki etkisi incelenir.

Rafineri ünitesi ürünleri için, mevcut ve iyileştirilmiş durumdaki üretim kapasiteleri kullanarak siparişlerin üretim süreleri hesaplanmıştır. Siparişler plana alınırken bu üretim sürelerine ilave olarak üniteye üretilen ürünler için 1 gün başlama ve ürün değişimi süresi eklenerek çizelgeleme yapılır. Siparişlerin gecikme süreleri minimum yapılmaya çalışılmaktadır.

3.4.2. Rafineri Ünitesi Siparişlerin Matematik Programlama Modeli

Aşağıda yukarıdaki bölümde anlatılan çizelgeleme problemine dair matematik programlama modeli yer almaktadır.

Notasyon

İndisler:

i : ürün sayısı $i = 1, \dots, N$ (N : toplam ürün sayısı)

Parametreler:

U_i : i . ürünün sipariş miktarı (birimi: ton)

M_i : i . ürüne göre değişebilen makine kapasitesi (birimi: ton/gün)

L_i : i . sipariş için gerekli süre (birimi: gün)

K_i : i . ürünün üretim süresi (birimi: gün)

Değişkenler:

T_i : i . ürünün gecikme süresi (birimi: gün)

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N T_i \quad (3.1)$$

Denklem (3.1) amaç fonksiyonu göstermekte olup toplam gecikmeyi minimize etmektedir.

Kısıtlar:

$$K_i = \frac{U_i}{M_i} \quad \forall i, i = 1, \dots, N \quad (3.2)$$

Denklem (3.2) siparişlerin üretim süresi kısıtını göstermektedir. Sipariş miktarının makine kapasitesine oranı ile hesaplanmaktadır.

$$T_i = \left(\sum_{i=1}^N K_i \right) - L_i + (i - 1) \quad \forall i, i = 1, \dots, N \quad (3.3)$$

Denklem (3.3) ile gösterilen kısıt kümesi, her bir sipariş için gecikme süresini tanımlamaktadır. Siparişlerin toplam üretim süresinden sipariş için gerekli süre çıkarılıp bir üründen diğerine geçerken her ürün için ekstra 1 günlük ürün değişim süresi eklenerek hesaplanmaktadır. Denklem (3.3) hesaplanırken ilk olarak sipariş için gerekli sürenin en küçük olduğu üründen başlanarak ürünler plana alınmaktadır. Örneğin 4 numaralı ürün en küçük sipariş süresine sahip ürün olursa denklem (3.3)'ün hesabı için 4 numaralı üründen başlanmalıdır. T_4 'ün hesaplanması şu şekildedir: $T_4 = K_4 - L_4$

4 numaralı üründen sonraki sipariş için gerekli en küçük süreye sahip ürün 2 numaralı ürün ise T_2 'in hesaplanması şu şekildedir: $T_2 = K_4 + K_2 - L_2 + 1$

2 numaralı üründen sonraki sipariş için gerekli en küçük süreye sahip ürün 5 numaralı ürün ise T_5 'in hesaplanması şu şekildedir:

$$T_5 = K_4 + K_2 + K_5 - L_5 + 2$$

Diğer ürünlerinki de benzer şekilde hesaplanır, bu şekilde toplam gecikme süresi bulunur. Amaç fonksiyonu da toplam gecikme süresini minimum yapmaktır.

$$\forall T_i \in R, \quad i = 1, \dots, N \quad (3.4)$$

Denklem (3.4) her T_i değerinin reel değer alabileceğini göstermektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, daha önce bahsedilmiş olan toplam ekipman etkinliği, değer akış haritalama, matematik programlama modeli ve Gantt şemasının uygulanması açıklanmaktadır. Ayrıca, bir rafineri ünitesi sürecine sahip bir firmanın üretim prosesi de süreçlerin anlaşılabilmesi açısından gözlemlenmiştir. Bazı çizelge ve şekillerin oluşumunda Excel ve matematik modelin çözümünde Lingo 18.0 optimizasyon programı kullanılmıştır.

4.1. Rafineri Ünite Bazlı Üretim Miktarları ve Teorik Üretim Süreleri

Çizelge 4.1’de rafineri ünitesi için ünite ve vardiya bazlı üretim miktarları ve teorik üretim süreleri yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Rafineri ünitesi nötr soya yağı üretim ve teorik kapasite tablosu

Kayıt tarihi	Vardiya kodu	Ünite no	Kapasite (ton/saat)	Üretim miktarı (ton)	Teorik zaman (saat)
31.01.2018	1	Ünite 1	7,08333	15	2,118
31.01.2018	2	Ünite 1	7,08333	21,125	2,982
31.01.2018	3	Ünite 1	7,08333	24,075	3,399
01.02.2018	1	Ünite 1	7,08333	42,24	5,963
01.02.2018	2	Ünite 1	7,08333	36,8	5,195
01.02.2018	3	Ünite 1	7,08333	0	0
27.04.2018	1	Ünite 1	7,08333	0	0
27.04.2018	2	Ünite 1	7,08333	2,9	0,409
27.04.2018	3	Ünite 1	7,08333	55,08	7,776
28.04.2018	1	Ünite 1	7,08333	55,68	7,861
28.04.2018	2	Ünite 1	7,08333	57	8,047
28.04.2018	3	Ünite 1	7,08333	60	8,471
29.04.2018	1	Ünite 1	7,08333	56	7,906
29.04.2018	2	Ünite 1	7,08333	60	8,471

Çizelge 4.1'in devamı

29.04.2018	3	Ünite 1	7,08333	58	8,188
30.04.2018	1	Ünite 1	7,08333	56,8	8,019
30.04.2018	2	Ünite 1	7,08333	48,25	6,812
30.04.2018	3	Ünite 1	7,08333	0	0
04.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	0	0
04.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	49,07	6,928
05.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	56,8	8,019
05.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	50,88	7,183
05.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	45,22	6,384
06.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	52,64	7,432
06.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	48,4	6,833
06.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	38,96	5,5
07.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	54,7	7,722
07.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	54,7	7,722
07.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	54,7	7,722
08.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	55,2	7,793
08.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	55,2	7,793
08.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	55,2	7,793
09.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	11,17	1,577
09.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	0	0
09.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	0	0
25.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	14	1,976
25.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	40,2	5,675
25.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	30	4,235
26.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	27	3,812
26.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	21,19	2,992
26.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	0	0
27.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	14,5	2,047
27.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	55,95	7,899
27.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	55,95	7,899

Çizelge 4.1'in devamı

28.06.2018	1	Ünite 1	7,08333	52	7,341
28.06.2018	2	Ünite 1	7,08333	49	6,918
28.06.2018	3	Ünite 1	7,08333	46	6,494

4.2. Rafineri Ünitesi Toplam Ekipman Etkinliği Analizi

Ek 2'de rafineri ünitesi için üretimde ürün bazlı gerçekleşen süreler, teorik süreler ve duruş sürelerinin kırılımları özet tablo halinde gösterilmiştir. Nötr soya üretiminde hız, arıza, başlama ve ikmal sürelerinin yüksek olduğu görülmektedir. İyileştirme çalışmaları için başlangıç olarak seçilmesi gereken ürün olarak düşünülebilir.

Çizelge 4.2'de Rafineri ünitesi için üretimde ürün bazlı kullanılabilirlik, performans ve kalite çarpanları ve TEE sonuçları yer almaktadır. En düşük TEE ve performans çarpanının nötr soya yağı üretiminde olduğu görülmektedir.

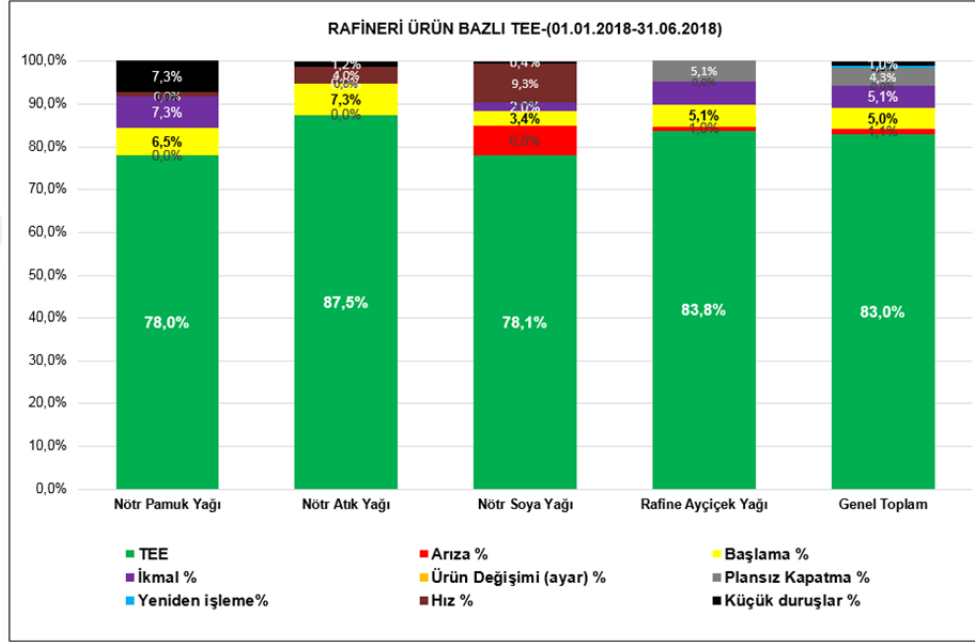
Çizelge 4.2. Rafineri ünitesi kullanılabilirlik, performans, kalite ve TEE tablosu

		A % (Kullanılabilirlik)	P % (Performans)	Q % (Kalite)	TEE %
Ünite 1	Nötr Pamuk	86%	90%	100%	78%
Ünite 1	Nötr Atık	93%	94%	100%	87%
Ünite 1	Nötr Soya	88%	88%	100%	78%
Ünite 2	Rafine Ayçiçek	84%	100%	100%	84%

Ek 3'de Rafineri ünitesi için kapasite kayıplarının ürün bazlı kırılımları yer almaktadır. Ünite 1'de nötr soya üretiminde TEE %78 olarak hesaplanmıştır, %22 toplam kaybın %7'si arıza %3'ü başlama, %2'si ikmal, %9'u hız, %1'i küçük duruş kaybıdır. Değer akış haritalama ile bu kayıplar azaltılarak TEE değeri arttırılmaya çalışılmıştır.

4.3. Rafineri Ünitesi Toplam Ekipman Etkinliği İçin Bulgular

Şekil 4.1’de rafineri ünitesi 6 aylık ürün bazlı TEE sonuçları ve kayıp kırılım %’leri renklerle gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Rafineri ünitesi ürün bazlı TEE ve kayıp kırılım grafiği

Rafineri ünitesi için üretimde ürün bazlı kullanılabilirlik, performans ve kalite çarpanları ve TEE sonuçları incelendiğinde düşük TEE ve performans çarpanının nötr soya yağı üretiminde olduğu görülmektedir. Ayrıca, nötr pamuk ile kıyaslandığında nötr soya yağının arıza kaybı ve hız kaybı daha yüksek olduğundan nötr soya yağı iyileştirme çalışması için başlangıç noktası olarak düşünülebilir.

Nötr soya üretiminde TEE sonuçlarının düşük çıkması, mevcut makine ve ekipmanların da verimliliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Nötr soya için %22’lik kaybın %9 hız, %7 arıza olarak hesaplanması değer akış haritalamada mevcut durum ve gelecek durum haritaları oluşturulurken odaklanılması gereken

noktaları ön plana çıkarmaya yardımcı olmuştur. Nötr soya üretimi için değer akış haritalama yöntemi ile değer yaratmayan israf olarak adlandırılan süreçler ortadan kaldırılarak TEE sonuçları arttırılmaya çalışılmıştır. Değer akış haritalama ile rafineri üretim prosesinde ağartma kaset filtrelerinde yerinde yıkama sisteminin getirilmesi sonucu kapasitenin 160 ton'dan 195-200 ton seviyelerine çıkarılması TEE sonuçlarının yükselmesini sağlamıştır.

Ek 4'de rafineri ünitesi değer akış haritalama iyileştirme çalışması sonucu üretimde ürün bazlı gerçekleşen süreler, teorik süreler ve duruş süreleri özet tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.3'de rafineri ünitesi değer akış haritalama iyileştirme çalışması sonucu üretimde ürün bazlı kullanılabilirlik, performans ve kalite çarpanları ve TEE sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Rafineri ünitesi iyileştirilmiş kullanılabilirlik, performans, kalite ve TEE tablosu

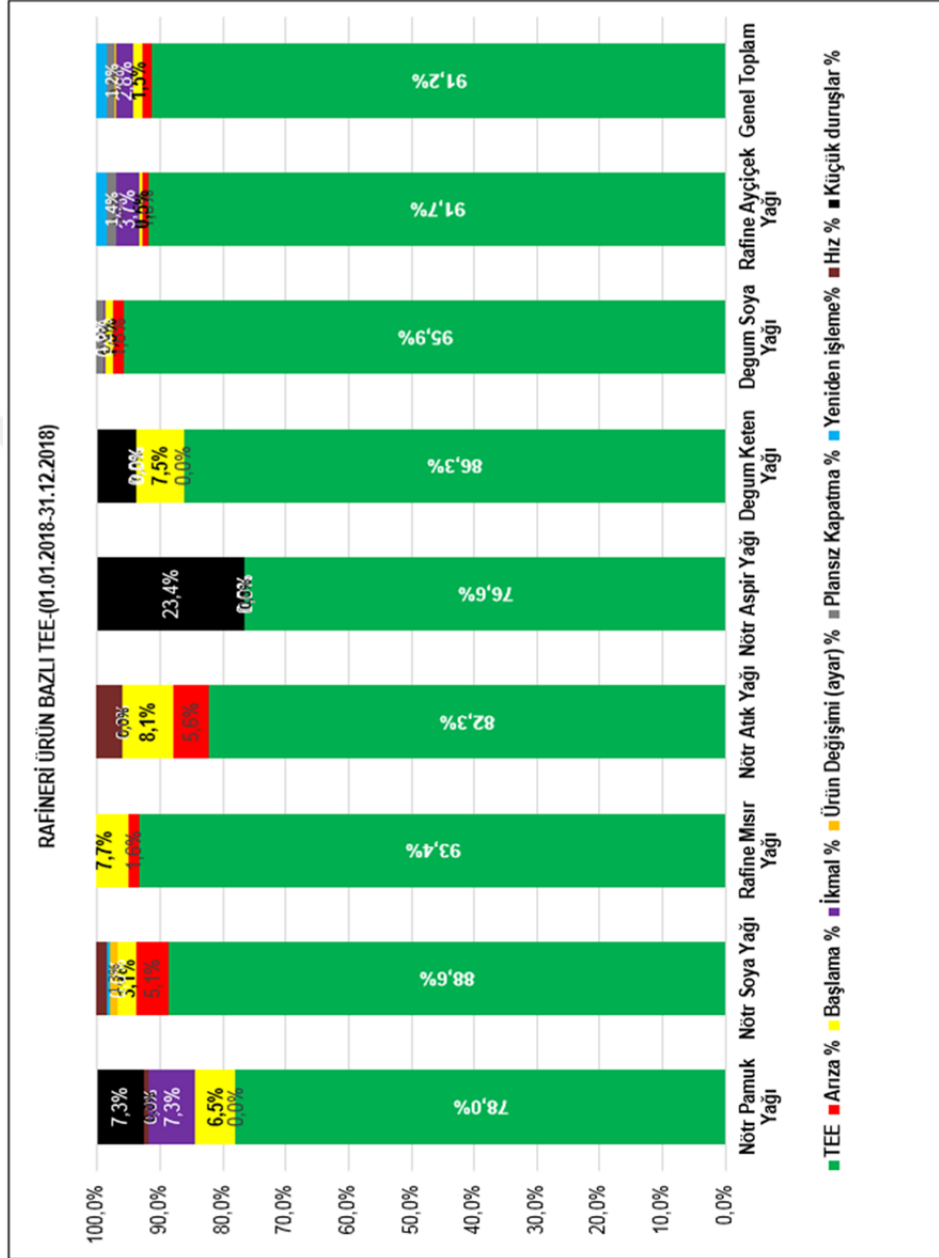
		A % (Kullanılabilirlik)	P % (Performans)	Q % (Performans)	TEE %
Ünite 1	Nötr Pamuk	86%	90%	100%	78%
Ünite 1	Nötr Aspir	100%	77%	100%	77%
Ünite 1	Nötr Atık	86%	95%	100%	82%
Ünite 1	Nötr Soya	90%	98%	100%	89%
Ünite 1	Degum Soya	95%	100%	100%	95%
Ünite 1	Degum Keten	92%	93%	100%	86%
Ünite 1	Rafine Mısır	86%	97%	100%	83%
Ünite 2	Rafine Ayçiçek	89%	100%	100%	92%
Ünite 2	Rafine Mısır	96%	100%	100%	96%
Ağırlıklı ortalama		92%	98%	100%	91%

Ek 5'de Rafineri ünitesi için kapasite kayıplarının ürün bazlı kırılımları yer almaktadır. Ünite 1'de nötr soya üretiminde toplam ekipman etkinliği %89 olarak

hesaplanmıştır, %11 toplam kaybın %5'si arıza %3'ü başlama, %2'si ürün değişimi ve %1'i hız kaybıdır.

Şekil 4.2'de rafineri ünitesi 12 aylık iyileştirilmiş ürün bazlı TEE sonuçları ve kayıp kırılım %'leri renklerle gösterilmiştir. Sonuç olarak, odaklanılmış Nötr soya üretiminde performansın %78'den yaklaşık olarak %89'a çıktığı, toplam tesis performansının ise %83'ten %91,2'ye çıktığı görülmektedir.



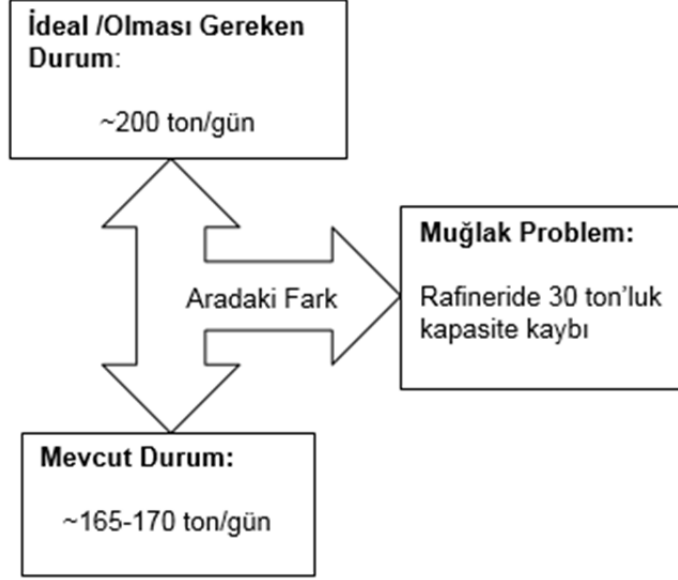


Şekil 4.2. Rafineri ünitesi iyileştirilmiş ürün bazlı TEE ve kayıp kırılım grafiği

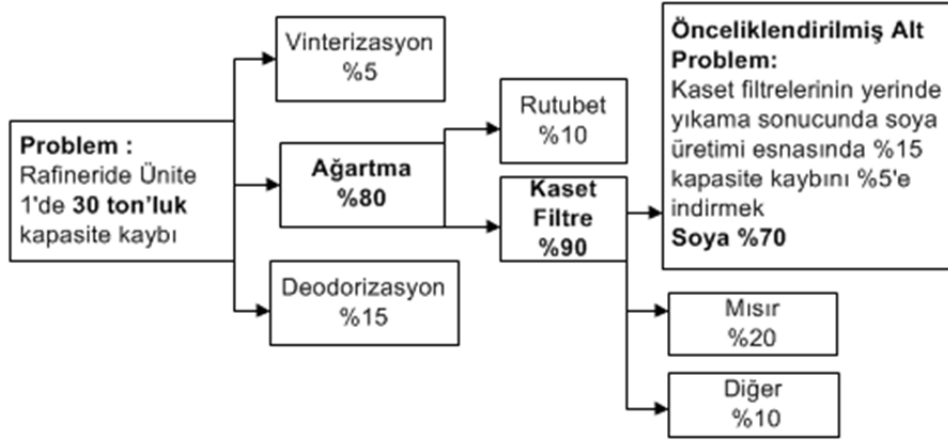
4.4. Rafineri Ünitesi Değer Akış Haritalama İçin Bulgular

Rafineri ünitesi prosesleri için Ek 6'da mevcut durum haritası yer almaktadır. Mevcut durum haritası analiz edilerek olması hedeflenen gelecek durum haritası Ek 7'de çizilmiştir. Bu eklerde, ÇS bir üründen diğerine geçerken oluşan çevrim süresini, DS bir üründen diğerine geçerken prosesteki değişim süresini ifade ederken bu değerlerin hemen altındaki değer olan MKO ise makine kullanım oranını ifade etmektedir. Gelecek durum haritasına ulaşmak için 5 adımlı problem çözme tekniğinden yararlanılmış olup adımlar aşağıdaki gibidir.

Şekil 4.3'de rafineri ünite 1'de mevcut ve ideal durum arasındaki fark olan 30 ton'luk kapasite kaybı muğlak problem olarak belirlenmiştir. Şekil 4.4'de belirlenmiş olan problem parçalara ayrılarak önceliklendirilmiş alt problem tespit edilmiştir. Önceliklendirilmiş alt problem rafineri ünite 1'de ağartma filtrelerinde soya yağı üretiminde %15 kapasite kaybıdır. Bu kaybı ağartma kaset filtrelerinde yerinde yıkama sistemi ile %15'den %5'e düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu durum Ek 7'de kaizen patlaması olarak belirtilmiştir. Kaizen patlaması yani iyileştirme çalışması olarak belirlenen ağartma kaset filtrelerinde yerinde yıkama sistemi sonucunda günlük üretim miktarının 165 ton'dan 195-200 tona çıkarılması Ünite 1'de soya yağı üretiminde toplam ekipman etkinliğinin %78'den yaklaşık %89'a çıkarılmasını sağlamıştır.

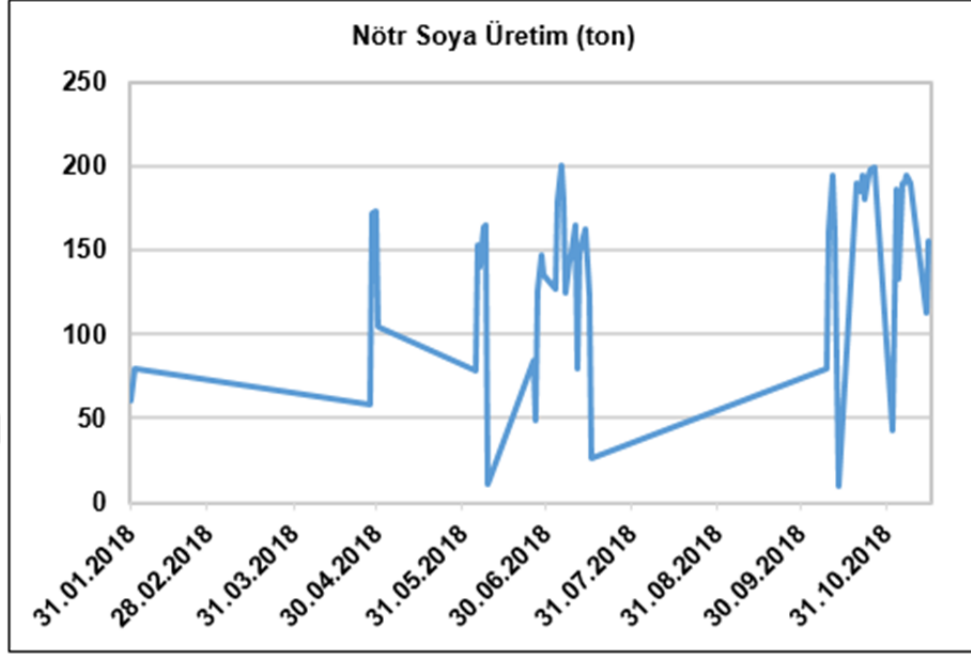


Şekil 4.3.Rafineri ünite 1 muğlak problem



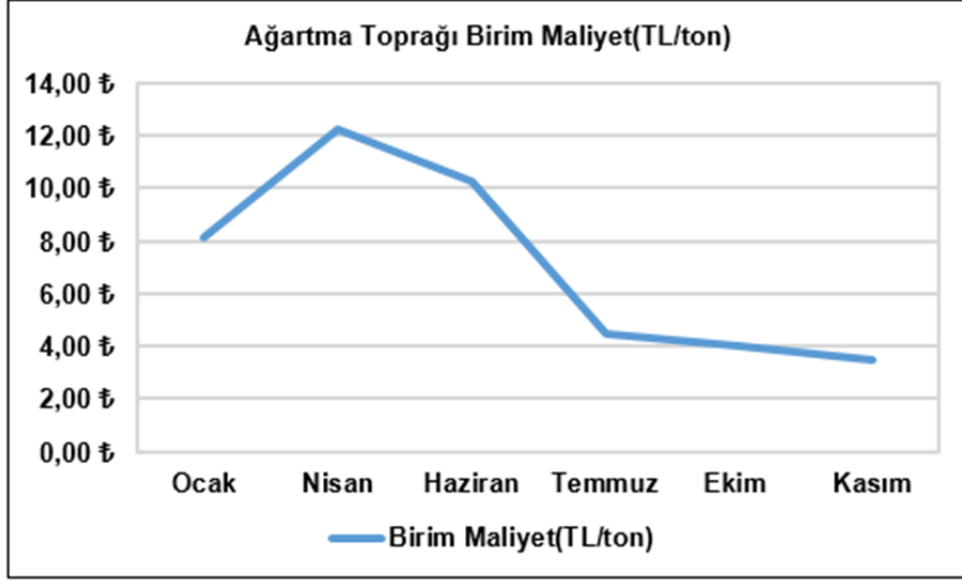
Şekil 4.4. Rafineri ünite 1 önceliklendirilmiş alt problem

Şekil 4.5'de rafine ünitesi nötr soya yağı için günlük üretim miktarı grafiği yer almaktadır. Grafikte ilk 6 ayda ortalama üretim miktarı 165 ton iken, değer akış haritalama ile yapılan iyileştirme çalışması sonucunda son 4 ayda ortalama üretim miktarı 195-200 ton seviyelerine ulaşmıştır.



Şekil 4.5. Nötr soya yağı aylık üretim grafiği

Ek 8’de aylık bazda nötr soya yağı üretiminde kimyasal malzeme olarak kullanılan ağartma toprağı (tonsil) miktarları, toplam maliyetleri ve birim maliyetler yer almaktadır. Şekil 4.6’da nötr soya üretiminde kullanılan ağartma toprağı için ton başına birim maliyetin aylık bazda değişim grafiği yer almaktadır. Yapılan iyileştirme çalışması sonucunda birim maliyetlerin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.6 Aylık ağartma toprağı birim maliyet tablosu

4.5. Rafineri Ünitesi Çizelgeleme İçin Bulgular

4.5.1. Rafineri Ünitesi Siparişleri

Çizelge 4.4’de rafineri ünitesi ürünleri için sipariş miktarları ve teslim zamanları yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Rafine ünitesi sipariş ve teslim zamanı tablosu

Ürün Adı	Sipariş Miktarı (ton)	Teslim Zamanı
Nötr Soya Yağı	3.465	15.02.2019
Nötr Atık Yağı	495	10.01.2019
Nötr Pamuk Yağı	825	28.02.2019
Nötr Aspir Yağı	825	06.01.2019
Degum Soya Yağı	2.475	25.01.2019
Degum Keten Yağı	1.485	25.02.2019

4.5.2. Rafineri Ünitesi Mevcut Kapasitelerle Çizelgeleme

Çizelge 4.5’de rafineri ünitesi ürünleri için mevcut durumdaki günlük üretim kapasiteleri ve siparişlerin üretim süreleri yer almaktadır. Son sütunda yer alan üretim süresi denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Siparişler plana alınırken bu üretim sürelerine ilave olarak Ünite 1’de üretilen nötr soya, nötr atık, nötr pamuk, nötr aspir, degum soya ve degum keten yağı için 1 gün başlama ve ürün değişimi süresi eklenerek çizelgeleme yapılmalıdır.

Çizelge 4.5. Rafineri ünitesi mevcut kapasite ve sipariş üretim süresi tablosu

Ürün No	Ürün Adı	Mevcut Kapasite (ton/gün)	Sipariş Üretim Süresi (gün)
1	Nötr Soya Yağı	165	21
2	Nötr Atık Yağı	165	3
3	Nötr Pamuk Yağı	165	5
4	Nötr Aspir Yağı	165	5
5	Degum Soya Yağı	165	15
6	Degum Keten Yağı	165	9

Çizelge 4.6’da sipariş geliş zamanı ve teslim zamanı verileri arasındaki fark hesaplanarak siparişler için gerekli süreler bulunmuştur.

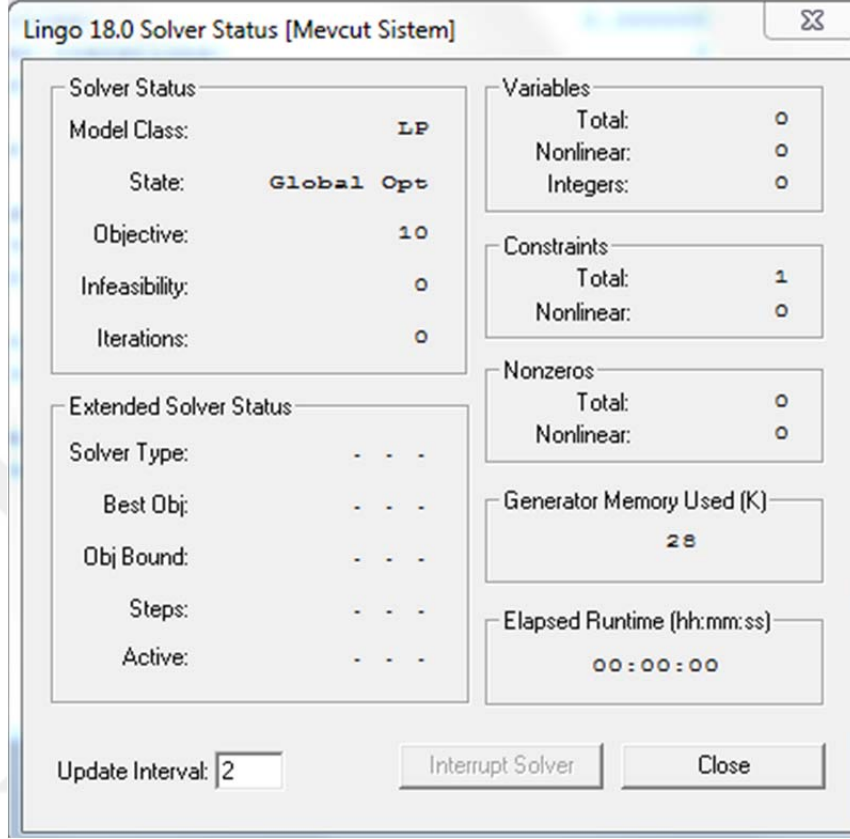
Çizelge 4.6. Rafineri ünitesi siparişleri için gerekli süre tablosu

Ürün No	Ürün Adı	Sipariş Miktarı (ton)	Sipariş Zamanı	Teslim Zamanı	Sipariş İçin Gerekli Süre(gün)
1	Nötr Soya Yağı	3.465	01.01.2019	15.02.2019	45
2	Nötr Atık Yağı	495	01.01.2019	10.01.2019	9
3	Nötr Pamuk Yağı	825	01.01.2019	28.02.2019	58
4	Nötr Aspir Yağı	825	01.01.2019	06.01.2019	5
5	Degum Soya Yağı	2.475	01.01.2019	25.01.2019	24
6	Degum Keten Yağı	1.485	01.01.2019	25.02.2019	55

Çizelge 4.7’de problemin matematik programlama modeli için gerekli ürün bazında, sipariş miktarı (U_i), kapasite (M_i) ve gerekli süre (L_i) verileri yer almaktadır. Matematik programlama modeli çözümünde LINGO 18.0 programı kullanılmıştır. Ek 9’da matematik programlama modelinin LINGO 18.0 programındaki yazılımına yer verilmiştir. Şekil 4.7’de problemin çözüm ekranı yer almaktadır. Problemin sonucu global optimum, model sınıfı LP ve amaç fonksiyonunun sonucu da 10 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Rafineri ünitesi siparişleri için mevcut özet veri tablosu

Ürün No	1	2	3	4	5	6
Sipariş miktarı (U_i)	3465	495	825	825	2475	1485
Kapasite (M_i)	165	165	165	165	165	165
Gerekli süre (L_i)	45	9	58	5	24	55



Şekil 4.7. LINGO 18.0 mevcut durum çözüm ekranı

Ek 10'da modelin LINGO 18.0 programı neticesindeki detaylı çözümü yer almaktadır. Siparişler toplamda 10 gün gecikmeli olarak tamamlanabilmektedir.

Ek 11'de rafineri ünitesi mevcut kapasiteleri kullanarak Gantt şeması yardımıyla yapılmış çizelgeleme tablosu yer almaktadır. Ünite 1'de siparişler, sipariş termin tarihlerine uygun olarak tamamlanamamıştır ve siparişler toplamda 10 gün gecikmeli olarak tamamlanabilmektedir. Ek 12 siparişlerin gecikme sürelerini göstermektedir. Çizelge 4.8'de rafineri ünitesi siparişleri için Ek 10'da yer alan model sonucu ve Gantt şeması yardımıyla yapılan çizelgeleme sonucu siparişlerin gecikme süreleri diğer bir ifade ile teslim süreleri ile tamamlanma süreleri arasındaki farklar yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Rafineri ünitesi siparişleri mevcut kapasitelerle Gantt şemasında gecikme süresi

Ürün No	Ürün Adı	Sipariş Miktarı (ton)	Sipariş Teslim Zamanı	Gantt Şeması Tamamlanma Zamanı	Gecikme Süresi (gün)
1	Nötr Soya Yağı	3.465	15.02.2019	17.02.2019	2
2	Nötr Atık Yağı	495	10.01.2019	10.01.2019	0
3	Nötr Pamuk Yağı	825	28.02.2019	05.03.2019	5
4	Nötr Aspir Yağı	825	06.01.2019	06.01.2019	0
5	Degum Soya Yağı	2.475	25.01.2019	26.01.2019	1
6	Degum Keten Yağı	1.485	25.02.2019	27.02.2019	2
					Toplam:10

4.5.3. Rafineri Ünitesi İyileştirilmiş Kapasitelerle Çizelgeleme

Çizelge 4.9’da rafineri ünitesi ürünleri için iyileştirilmiş günlük üretim kapasiteleri ve siparişlerin üretim süreleri yer almaktadır. Bu çizelgenin son sütununda yer alan üretim süresi hesaplanırken denklem (3.2) kullanılmıştır. Siparişler plana alınırken bu üretim sürelerine ilave nötr soya, nötr atık, nötr pamuk, nötr aspir, degum soya ve degum keten yağı için 1 gün başlama ve ürün değişimi süresi eklenerek çizelgeleme yapılmalıdır.

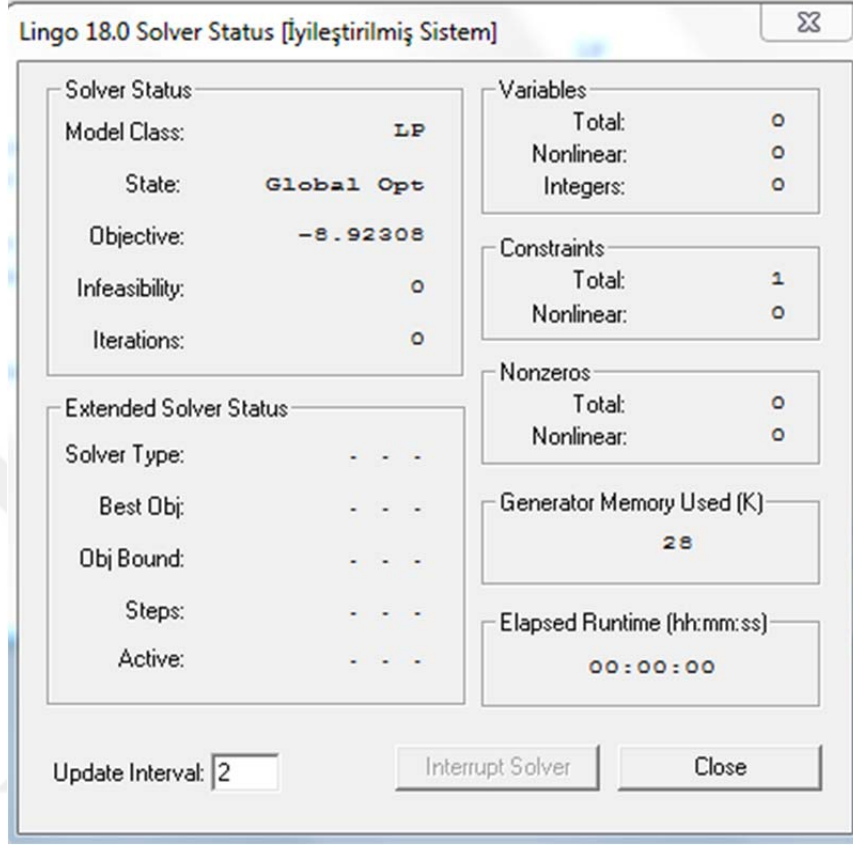
Çizelge 4.9. Rafineri ünitesi iyileştirilmiş kapasite ve sipariş üretim süresi tablosu

Ürün No	Ürün Adı	Kapasite (ton/gün)	Sipariş Üretim Süresi (gün)
1	Nötr Soya Yağı	195	17,76
2	Nötr Atık Yağı	165	3
3	Nötr Pamuk Yağı	165	5
4	Nötr Aspir Yağı	165	5
5	Degum Soya Yağı	195	12,69
6	Degum Keten Yağı	165	9

Çizelge 4.10'da iyileştirilmiş durumu içeren problemin matematik programlama modeli için gerekli ürün bazında, sipariş miktarı (U_i), iyileştirilmiş kapasite (M_i) ve gerekli süre (L_i) verileri yer almaktadır. Ek 13'de iyileştirilmiş durumun matematik programlama modelinin LINGO 18.0 programındaki yazılımına yer verilmiştir. Şekil 4.8'de problemin çözüm ekranı yer almakta olup problemin sonucu global optimum, model sınıfı LP ve amaç fonksiyonunun sonucu da yaklaşık -8,9 olarak bulunmuş olup siparişler gecikmesiz olarak aksine toplamda yaklaşık 8,9 gün erken tamamlanabilmiştir.

Çizelge 4.10. Rafineri ünitesi siparişleri için iyileştirilmiş özet veri tablosu

Ürün No	1	2	3	4	5	6
Sipariş miktarı (U_i)	3465	495	825	825	2475	1485
İyileştirilmiş kapasite (M_i)	195	165	165	165	195	165
Gerekli süre (L_i)	45	9	58	5	24	55



Şekil 4.8 LINGO 18.0 iyileştirilmiş durum çözüm ekranı

Ek 14'de iyileştirilmiş durum neticesinde rafine ünitesi siparişlerinin LINGO 18.0 programı çözümündeki sonuçları yer almaktadır. Siparişler toplamda gecikmesiz olarak yaklaşık 8,9 gün erken tamamlanabilmektedir. Ek 15'de rafineri ünitesi iyileştirilmiş kapasiteler kullanılarak Gantt şeması yardımıyla yapılmış çizelgeleme tablosu yer almaktadır. Tabloda siparişler termin tarihlerine uygun olarak gerçekleşmiştir ve gecikme yaşanmamıştır. İlk durumdaki 10 günlük gecikme, yapılmış iyileştirme çalışmaları sonucunda gecikmesiz tamamlanmıştır. Ek 16 iyileştirilmiş kapasiteler sonucu erken tamamlanma zamanlarını göstermektedir. Çizelge 4.11'de rafineri ünitesi siparişleri için Ek 14'de yer alan model sonucu ve Gantt şeması yardımıyla iyileştirilmiş kapasiteler ile yapılan

çizelgeleme sonucu siparişlerin gecikme süreleri yer almakta olup siparişlerin tamamı gecikmesiz olarak tamamlanmıştır.

Çizelge 4.11. Rafineri ünitesi siparişleri iyileştirilmiş kapasitelerle Gantt şemasında gecikme süresi

Ürün Adı	Sipariş Miktarı (ton)	Sipariş Teslim Zamanı	Gantt Şeması Tamamlanma Zamanı	Gecikme Süresi (gün)
Nötr Soya Yağı	3.465	15.02.2019	12.02.2019	-3,538462
Nötr Atık Yağı	495	10.01.2019	10.01.2019	0
Nötr Pamuk Yağı	825	28.02.2019	28.02.2019	-0,5384615
Nötr Aspir Yağı	825	06.01.2019	06.01.2019	0
Degum Soya Yağı	2.475	25.01.2019	24.01.2019	-1,307692
Degum Keten Yağı	1.485	25.02.2019	22.02.2019	-3,538462
Toplam:				-8,923077

2 farklı kapasite ile yapılan çizelgeleme çalışması sonucunda gecikme süreleri karşılaştırması Çizelge 4.12’de yer almaktadır. Mevcut kapasiteler ile yaşanan 10 günlük gecikme, iyileştirilmiş kapasite ile gecikmesiz olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.12 . Mevcut ve iyileştirilmiş kapasite gecikme süresi karşılaştırma

Ürün Adı	Sipariş Miktarı (ton)	Mevcut Kapasite Gecikme Süresi (gün)	İyileştirilmiş Kapasite Gecikme Süresi (gün)
Nötr Soya Yağı	3.465	2	-3,538462
Nötr Atık Yağı	495	0	0
Nötr Pamuk Yağı	825	5	-0,5384615
Nötr Aspir Yağı	825	0	0
Degum Soya Yağı	2.475	1	-1,307692
Degum Keten Yağı	1.500	2	-3,538462
		10	-8,923077

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Çalışmanın Özeti

Tez çalışmasında yalın üretim tekniklerinden değer akış haritalama ve toplam ekipman etkinliği teknikleri üzerinde durulmuştur. Bu teknikler hakkında detaylı bilgi verildikten sonra bir rafine yağ üretim süreci düşünülerek örnek yapılmıştır. Üretim proses akışı için kayıp sınıflandırması yapılmıştır. Üretim kapasitesi ve kayıp duruş süreleri dikkate alınarak sistemin ve tüm ürünlerin toplam ekipman etkinliği hesaplanmaktadır. Toplam ekipman etkinliği yüzdesi ve kayıpların kırılım yüzdeleri grafiklerle analiz edilmiştir. En düşük performans ile üretilen ürün ve performans düşüşüne neden olan etmenlerin yüzdesel dağılımı bu grafiklerde yer almaktadır.

Toplam ekipman etkinliği verilerinden yararlanarak, değer akış haritalama esnasında problemlerin yer aldığı iyileştirme çalışmalarının başlatılması gereken noktalar belirlenmiştir. Belirlenen problem için beş adımlı problem çözme tekniklerinden yararlanılarak ağartma filtrelerinde yerinde yıkama sistemine geçilmesi iyileştirme çalışması olarak belirlenmiştir. Yapılan iyileştirme çalışması sonrasında yeniden toplam ekipman etkinliği sonuçları incelendiğinde sistem performansının arttığı görülmüştür.

İyileştirme çalışmaları yapılmadan önce üretim kapasiteleri düşük olduğundan siparişler gecikmeli olarak tamamlanabilmekteydi. Üretim prosesinde işlenmek için bekleyen siparişlerin termin tarihleri göz önünde bulundurularak toplam gecikme süresini minimum yapmak amaçlanarak optimum çözümü sağlayan matematik programlama modeli geliştirilerek çizelgeleme yapılmıştır. Geliştirilen modelin optimum çözümü için LINGO 18.0 yazılım programı kullanılmıştır. Başlangıçta mevcutta 10 günlük gecikme ile tamamlanabilen siparişler, iyileştirme çalışmaları sonucunda gecikmesiz olarak hatta yaklaşık 8,9 gün erken tamamlanmıştır. Sonuç olarak ilk etapta gecikmeli olarak tamamlanan ürünler nedeniyle müşteri kaybına sebebiyet verebilen gecikmeler, iyileştirme

çalışmaları sonucunda siparişlerin erken tamamlanmasını sağlayarak yeni siparişlerin önünün açılmasına yardımcı olmaktadır.

5.2. Çalışmanın Sonuçları

Tez çalışması kapsamında çalışmanın sonuçları maddeler halinde aşağıdaki gibidir:

- Toplam ekipman etkinliği analizi ile kayıp sınıflandırması yapılarak kapasite ve performans kayıpları belirlenmiştir.
- Ünite 1’de nötr soya üretiminde toplam ekipman etkinliği %78 olarak hesaplanmıştır, %22 toplam kaybın %7’si arıza %3’ü başlama, %2’si ikmal, %9’u hız, %1’i küçük duruşlar kaybıdır.
- Değer akış haritalama ile kayıplar azaltılarak toplam ekipman etkinliği değeri arttırılmaya çalışılmıştır.
- Değer akış haritalamada gelecek durum haritasına ulaşabilmek için beş adımlı problem çözme tekniğinden yararlanılmıştır. Ağartma filtrelerinde eski sistem kaset filtre yıkama sistemi yerine yeni yerinde yıkama sistemine geçilmesi iyileştirme çalışması olarak belirlenmiştir.
- Rafine ünitesi nötr soya yağı için ortalama üretim miktarı 165 ton iken, değer akış haritalama ile yapılan iyileştirme çalışması sonucunda ortalama üretim miktarı 195-200 ton seviyelerine ulaşmıştır.
- Kimyasal malzeme olarak kullanılan ağartma toprağı için yapılan iyileştirme çalışması sonucunda ton başına birim maliyeti azalmıştır.
- İyileştirilmiş üretim miktarları ile yeniden toplam ekipman etkinliği analizi yapılarak ünite 1’de nötr soya üretiminde toplam ekipman etkinliği yaklaşık %89 olarak hesaplanmıştır, %11 toplam kaybın %5’si arıza, %3’ü başlama, %2’si ürün değişimi-ayar ve %1’i hız kaybıdır. Odaklanılmış nötr soya üretiminde performansın %78’den yaklaşık %89’a

çıktığı, toplam tesis performansının ise %83'ten %91,2'e çıktığı görülmektedir.

- Siparişlerin teslim tarihleri göz önünde bulundurularak toplam gecikme süresini minimum yapmayı amaçlayan matematik programlama modeli LINGO 18.0 programı ile çözülmüştür. Mevcut kapasite ile gerçekleşen 10 günlük gecikme süresi, iyileştirilme çalışmaları sonucunda artan kapasite ile gecikmesiz olarak hatta yaklaşık 8,9 gün erken tamamlanmıştır. Ayrıca, mevcut ve iyileştirilmiş kapasiteler ile Gantt şeması yardımıyla çizelgeleme çalışması yapılmıştır.

5.3. Gelecek Çalışmalar için Öneriler

Tez kapsamında yapılan çalışmalara ilave olarak ilerideki çalışmalarda yapılması önerilen çalışmalar aşağıdaki gibidir:

- Toplam ekipman etkinliği için Excel tablolarında hesaplanan formülasyon için hem veri güvenliğini hem de hesaplama kolaylığını sağlamak için bir yazılım programı geliştirilerek ve veriler program üzerinden analiz edilerek raporlar oluşturulabilir.
- Çizelgeleme esnasında geliştirilen gecikme süresini minimum yapan matematik programlama modelinin kapsamı genişletilerek farklı kısıtlar eklenebilir.
- Optimum yöntemlerden kullanılan matematik programlama modeline ilaveten veri aralığı ve kısıtların arttırılmasıyla sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalar da geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- Adalı, M.R., Kiraz, A., Akyüz, U., ve Halk, B., 2017. Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: Büyük Ölçekli Bir Traktör İşletmesinde Uygulama. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2):242-251.
- Ahmad, A.N.A., Lee, T.C., Ramlan, R., Ahmad M.F., Husin, N., and Rahim, M.A., 2017. Value Stream Mapping to Improve Workplace to Support Lean Environment. MATEC Web of Conferences, 135: 11 pages.
- Ahmad, R., Masse, C., Jituri, S., Doucette, J., and Mertiny, P., 2018. Alberta Learning Factory for Training Reconfigurable Assembly Process Value Stream Mapping. Procedia Manufacturing, 23:237-242.
- Antonelli, D., and Stadnicka, D., 2018. Combining Factory Simulation with Value Stream Mapping: A Critical Discussion. Procedia CIRP, 67:30-35.
- Birgün, S., Gülen. K.G., ve Özkan. K., 2006. Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: İmalat Sektöründe Bir Uygulama. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(9): 47-59.
- Braglia, M., Gabbrielli, R., and Marrazzini L., 2019. Overall Task Effectiveness: A New Lean Performance Indicator in Engineer-to-Order Environment. International Journal of Productivity and Performance Management, 68(2):407-422.
- Bulut, K., ve Altunay, H., 2016. Değer Akışı Haritalandırma Yöntemi: Mobilya Sektöründe Bir Uygulama. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 8(1):48-55.
- Çelik, H., ve Taşkın, K., 2019. SMED Uygulamasının Ayar Süresine ve Birim Maliyete Etkisi: Kabuk Soyma Parlak Çelik Üretim Hattı Uygulaması. İşletme Bilimi Dergisi, 7(1):77-103.

- Dadashnejad A.-A., and Valmohammadi C., 2019. Investigating the Effect of Value Stream Mapping on Overall Equipment Effectiveness: A Case Study. *Total Quality Management*, 30(4):466-482.
- Doğan, N.Ö., ve Ersoy, Y., 2016. Hizmet Sektöründe Değer Akış Haritalama Uygulaması: Bir Üniversite Araştırma ve Uygulama Merkezi Örneği. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 48:103-116.
- Duran, O., Capaldo, A., and Acevedo, P.A.D., 2018. Sustainable Overall Throughputability Effectiveness (S.O.T.E.) as a Metric for Production Systems. *Sustainability*, 10: 15 pages.
- Edtmayr, T., Sunk, A., and Sihn, W., 2016. An Approach to Integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping. *Procedia CIRP*, 41:289-294.
- Eren, T., ve Güner, E., 2006. Paralel Makineli Çizelgelemede Toplam Tamamlanma Zamanı ve Maksimum Gecikmenin En Küçüklenmesi. *S.Ü. Müh.-Mim Fak. Derg.*, 21(1-2):21-32.
- Eser, S., ve Yıldız, M.S., 2017. Denim Pantolonu Üretiminde Değer Akış Haritalandırma Yönteminin Uygulanması. *İşletme Bilimi Dergisi*, 5(3):1-24.
- Fattahi, P., Mehrabad, M.S., and Jolai, F., 2007. Mathematical Modeling and Heuristic Approaches to Flexible Job Shop Scheduling Problems. *J Intell Manuf*, 18: 331-342.
- Güzel, D., Kabakuş, A.K., and Şirin, M.S., 2018. A Value Stream Mapping Implementation: A Case of Textile Industry. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 32(3):763-772.
- Haefner, B., Kraemer, A., Stauss, T., and Lanza, G., 2014. Quality Value Stream Mapping. *Procedia CIRP*, 17:254-259.
- İşler, M.C. Toklu, B., ve Çelik, V., 2009. Öğrenme Etkili Erken/Geç Tamamlanma Çizelgeleme Problemleri için Bir Literatür Araştırması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2):227-252.

- Jia, H.Z., Fuh, J.Y.H., Nee, A.Y.C, and Zhang, Y.F., 2007. Integration of Genetic Algorithm and Gantt Chart for Job Shop Scheduling in Distributed Manufacturing Systems. *Computers & Industrial Engineering*, 53:313-320.
- Karimi, S., Ardalan, Z., Naderi, B., and Mohammadi, M., 2017. Scheduling Flexible Job-Shops with Transportation Times: Mathematical Models and a Hybrid Imperialist Competitive Algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 41:667-682.
- Kılıç, A., ve Ayvaz, B., 2016. Türkiye Otomotiv Yan Sanayinde Yalın Üretim Uygulaması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15(29):29-60.
- Knapczyk A., Francik, S., and Slipek, Z., The Concept of Algorithm Supporting the Process of Scheduling Production Tasks. *BIO Web of Conferences, Contemporary Research Trends in Agricultural Engineering*, 10 pages.
- Koçak, A., 2015. İmalat Süreçlerinde Kullanılan Performans Ölçütleri Üzerine Bir Literatür Araştırması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Birimler Fakültesi Dergisi*, 17(3):160-185.
- Koçanlı, M.M., Aydınbeyli, Y.E., ve Saraç, T., 2012. Eti Şirketler Grubu'nda Üretim Çizelgeleme Problemi için bir Hedef Programlama Modeli ve Genetik Algoritma. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 23(3):4-21.
- Korski, J., Tobor-Osadnik K., and Wyganowska, M., 2017. Mining Machines Effectiveness and OEE Indicator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 268:1-11.
- Kumar, S.V., Mani, V.G.S., and Devraj, N., 2014. Production Planning and Process Improvement in an Impeller Manufacturing using Scheduling and OEE Techniques. *Procedia Materials Science*, 5:1710-1715.
- Liu, S.Q., Kozan, E., Masoud, M., Zhang, Y., and Chan, F.T.S., 2018. Job Shop Scheduling with a Combination of Four Buffering Constraints. *International Journal of Production Research*, 56(9):3274-3293.

- Meng, R., Rao, Y., Zheng, Y., and Qi, D., 2018. Modelling and Solving Algorithm for Two-Stage Scheduling of Construction Component Manufacturing with Machining and Welding Process. *International Journal of Production Research*, 56(19):6378-6390.
- Moslehi, G., and Mahnam, M., 2011. A Pareto Approach to Multi-Objective Flexible Job-Shop Scheduling Problem using Particle Swarm Optimization and Local Search. *Int. J. Production Economics*, 129:14-22.
- Nafors, D., Barring, M., Estienne, M., Johansson, B., and Walhström, M., 2018. Supporting Discrete Event Simulation with 3D Laser Scanning and Value Stream Mapping: Benefits and Drawbacks. *Procedia CIRP*, 72:1536-1541.
- Pandian, R.S., and Soltysova Z., 2018. Management of Mass Customized Orders using Flexible Schedules to Minimize Delivery Times. *Polish Journal of Management Studies*, 18(1):252-261.
- Pathumnakul, S., and Egbelu, P.J., 2005. Algorithm for Minimizing Weighted Earliness Penalty in Single-Machine Problem. *European Journal of Operational Research*, 161(3):780-796.
- Pathumnakul, S., and Egbelu, P.J., 2006. An Algorithm for Minimizing Weighted Earliness Penalty in Assembly Job Shops. *Int. J. Production Economics*, 103:230-245.
- Relkar, A.S., and Nandurkar, K.N., 2012. Optimizing & Analysing Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Design of Experiments (DOE). *Procedia Engineering*, 38:2973-2980.
- Saleem, F., Nisar, S., Khan, M.A., Khan, S.Z., and Sheikh, M.A., 2017. Overall Equipment Effectiveness of Tyre Curing Press: A Case Study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 23(1):39-56.
- Saraç, T., ve Sipahioğlu, A., 2008. Plastik Enjeksiyon Makinalarının Çizelgelenmesi Problemi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20(2):2-14.
- Şevkli, M., ve Yenisey, M.M., 2006. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri için Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi. *İtÜdergisi/d*, 5(2):58-68.

- Temiz, İ., Atasoy, E., ve Sucu, A., 2010. Toplam Ekipman Etkinliği ve Bir Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 12(4):49-60.
- Tsarouhas, P., 2019. Improving Operation of the Croissant Production Line Through Overall Equipment Effectiveness (OEE): A Case Study. International Journal of Productivity and Performance Management, 68(1):88-108.
- Xie, N., and Chen, N., 2018. Flexible Job Shop Scheduling Problem with Interval Grey Processing Time. Applied Soft Computing, 70:513-524.
- Yaşın, M.F., ve Daş, G.S., 2017. KOBİ'lerde Ekipman Etkinliğinin İyileştirilmesinde TEE Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım: Bir Ahşap İşleme Kuruluşunda Uygulama. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32(1): 45-52.
- Yazdani, M., Aleti, A., Khalili, S.M., and Jolai, F., 2017. Optimizing the sum of Maximum Earliness and Tardiness of the Job Shop Scheduling Problem. Computers & Industrial Engineering, 107:12-24.
- Yazdi, P.G., Azizi, A., and Hashemipour, M., 2018. An Empirical Investigation of the Relationship between Overall Equipment Efficiency (OEE) and Manufacturing Sustainability in Industry 4.0 with Time Study Approach. Sustainability, 10:1-28.
- Zeydan, M., 2006. Maliyet Tabanlı Çizelgeleme ve Bir Mobilya Fabrikasında Uygulaması. Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma, 1:107-116.



ÖZGEÇMİŞ

29 Nisan 1993 Mersin doğumludur. Orta öğrenimini Mersin’de Mehmet Serttaş Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2015 yılında Çukurova Üniversite Endüstri Mühendisliği Lisans Bölümü’nden bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Yüksek Lisansına Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde devam etmektedir. 3 yıldır Mersin’de Aves Enerji ve Gıda A.Ş.’de planlama uzmanı olarak çalışmaktadır. Boş zamanlarında hobi olarak tenis oynamaktan, müzik dinlemekten ve kitap okumaktan zevk almaktadır.



EKLER



Ek-1. Rafineri ünitesi kök nedenler için geliştirilen karşı önlemler

NO	KÖK NEDEN	KARŞI ÖNLEM	SORUMLU	ETKİ	MALİYET	UYG. KOL.	ÖNCELİK	TERMIN
B	Talimatlara uyulmaması dolayısıyla sık değişim yapılması	Talimatların revize edilmesi	Rafineri Mühendisi	1	3	3	9	Haziran sonu
A	Vinç arızaları kaynaklı zaman ve kapasite kaybı	Yerinde yıkama yapılarak vinç kullanımının ortadan kaldırılması	Rafineri Mühendisi	3	2	2	12	Haziran sonu
A	Vinç Taşımaları esnasında zaman ve kapasite kaybı	Yerinde yıkama yapılarak vinç kullanımının ortadan kaldırılması	Rafineri Mühendisi	3	2	1	6	Haziran sonu
A	Manuel sökme takma yapılması esnasında zaman kaybı ve yıkama işlemine has parça değişimi	Yerinde yıkama uygulaması, yıkama işlemine has parça seçiminin gözden geçirilmesi, deşarj noktası belirleme. Gözetleme camı uygulaması. Kimyasal dozajlama noktası belirleme.	Rafineri Mühendisi	3	2	1	6	Haziran sonu
A	Yerinde yıkama yapılması	Boysweb üzerinden talimat açılması	Rafineri Mühendisi	3	1	3	9	Mayıs ortası
A	Yerinde yıkama yapılması	Saha çalışması yapılması ve gerekli ekipmanların belirlenmesi	Rafineri-Bakım Birimi	3	1	3	9	Haziran ilk haftası
A	Yerinde yıkama yapılması	Belirlenen ekipmanların tahsis edilmesi	Satın Alma Birimi	3	1	3	9	Haziran ilk haftası
A	Yerinde yıkama yapılması	Proje takibi kapsamında gerekli montajların yapılması	Bakım Birimi	3	2	3	18	Haziran 2. ve 3. haftası

Ek-2. Rafineri ünitesi üretim ve duruş süreleri

Ünite	Üretim Gerçekleşen (Saat)	Üretim Teorik (Saat)	Planlı Duruş (saat)	Arıza (saat)	Başlama (saat)	İkmal Bekleme (saat)	Ürün Değişimi (Avar) (saat)	Kapatma Plansız Duruş (saat)	Yeniden İşleme (saat)	Hız (saat)
Ünite 1	Nötr Pamuk Yağı	200	156,1	0,00	13,00	14,5	0,00	0,00	0,00	2,00
Ünite 1	Nötr Atık Yağı	56	42,2	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
Ünite 1	Nötr Soya Yağı	392	286,5	22,8	11,60	5,33	0,00	0,00	0,00	32,00
Ünite 2	Rafine Ayçiçek Yağı	3272	2702,5	19,3	162,90	175,1	0,00	165,30	63,20	10,00

Ek-3. Rafineri ünitesi kapasite kaybı % kırılım tablosu

Arıza %	Başlama %	İkmal %	Ürün Değişimi (Ayar) %	Yeniden işleme %	Plansız Duruş %	Hız %	Küçük Duruşlar %
Ünite 1	Nötr Pamuk	0%	7%	7%	0%	1%	7%
Ünite 1	Nötr Atık	0%	7%	0%	0%	4%	2%
Ünite 1	Nötr Soya	7%	3%	0%	0%	9%	1%
Ünite 2	Rafine Ayçiçek	1%	5%	5%	3%	0%	0%

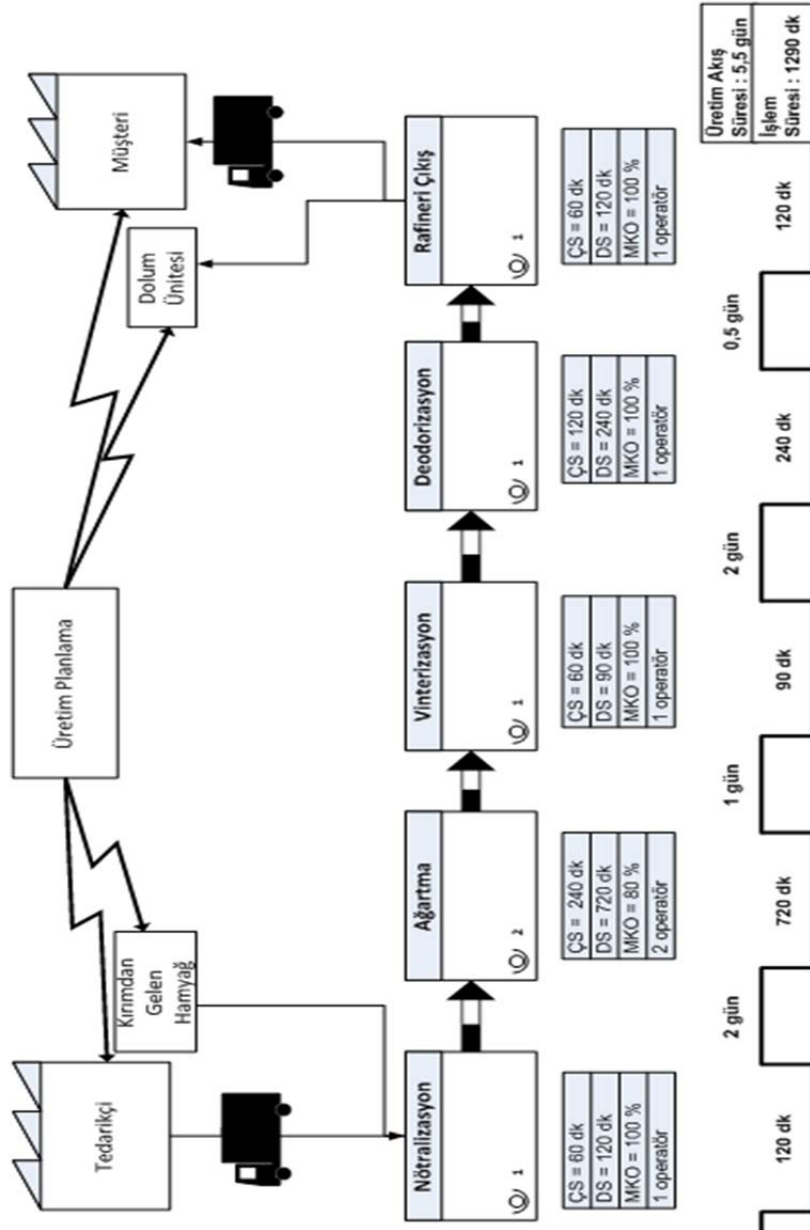
Ek-4. Rafineri ünitesi iyileştirilmiş üretim ve duruş süreleri

	Üretim Gerçekleşen (Saat)	Üretim Teorik (Saat)	Arıza (saat)	Başlama (saat)	İkmal Bekleme (saat)	Ürün Değişimi (Ayar) (saat)	Kapatma Plansız Duruş (saat)	Yeniden İşleme (saat)	Toplam plansız kayıp (saat)	Hız (saat)
Ünite 1 Rafine Mısır Yağı	168	135,5	4,00	19,33	0,00	0,00	0,00	0,00	23,33	0
Ünite 1 Nötr Pamuk Yağı	200	156,1	0,00	13,00	14,50	0,00	0,00	0,00	27,50	2
Ünite 1 Nötr Aspir Yağı	24	18,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Ünite 1 Nötr Atık Yağı	168	81,5	5,58	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,58	4
Ünite 1 Nötr Soya Yağı	856	701,9	40,33	24,33	0,00	10,25	0,00	3,42	78,33	33
Ünite 1 Degum Soya Yağı	768	728,3	12,00	9,75	1,50	0,00	12,00	0,00	35,25	0
Ünite 1 Degum Ketan Yağı	120	97,5	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50	0
Ünite 2 Rafine Ayçiçek Yağı	4968	4505,1	51,08	26,18	182,22	0,00	70,22	194,83	524,53	83
Ünite 2 Rafine Mısır Yağı	88	98,2	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	3,50	0
	7360	6522,5	113,00	109,09	198,22	10,25	82,22	198,25	714,53	122

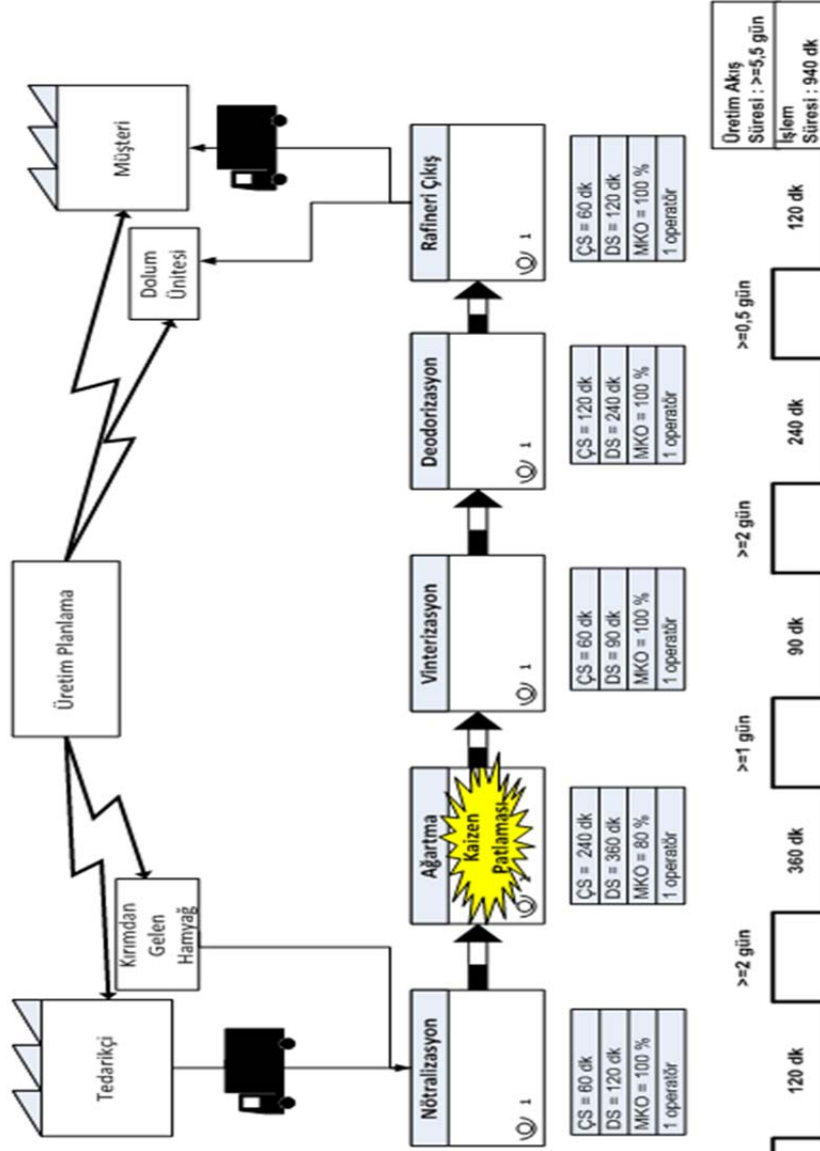
Ek-5. Rafineri ünitesi iyileştirilmiş kapasite kaybı % kırılım tablosu

	Arıza %	Başlama %	İkmal Bekleme %	Ürün Değişimi (Ayar) %	Yeniden İşleme %	Kapatma Plansız Duruş %	Hız %	Küçük Duruşlar %
Ünite 1	0%	7%	7%	0%	0%	0%	1%	7%
Ünite 1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%
Ünite 1	6%	8%	0%	0%	0%	0%	4%	0%
Ünite 1	5%	3%	0%	2%	0%	0%	1%	0%
Ünite 1	2%	1%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
Ünite 1	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	6%
Ünite 1	2%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	2%
Ünite 2	1%	1%	4%	0%	4%	1%	0%	0%
Ünite 2	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%
Ünite 2	2%	1%	3%	0%	1%	1%	2%	2%

Ek-6. Rafineri ünitesi mevcut durum haritası



Ek-7. Rafineri ünitesi gelecek durum haritası



Ek-8. Nötr soya yağı aylık ağartma toprağı kullanım miktarı ve birim maliyet tablosu

	Ham yağ (mt)	Tonsil 254 Tüketimi (kg)	Tonsil 210 Tüketimi (kg)	Toplam (kg)	Tonsil 254 Maliyeti (TL)	Tonsil 210 Maliyeti (TL)	Toplam (TL)	Birim Maliyet (TL/ton)
Ocak	146	350	250	600	385 ₺	800 ₺	1.185 ₺	8,14 ₺
Nisan	551	4.550	550	5.100	5.005 ₺	1.760 ₺	6.765 ₺	12,28 ₺
Haziran	1.325	7.900	1.525	9.425	8.690 ₺	4.880 ₺	13.570 ₺	10,24 ₺
Temmuz	2.100	8.525	0	8.525	9.378 ₺	0 ₺	9.378 ₺	4,47 ₺
Ekim	3.404	12.475	0	12.475	13.723 ₺	0 ₺	13.723 ₺	4,03 ₺
Kasım	5.548	17.475	0	17.475	19.223 ₺	0 ₺	19.223 ₺	3,46 ₺

Ek-9. Matematik model mevcut kapasite LINGO 18.0 programındaki yazılımı

SETS:

URUN/1..6/;
SIPARIS_MIKTARI(URUN):K,U;
KAPASITE(URUN):M;
GEREKLI_SURE(URUN):L;
ENDSETS

DATA:

U=3465 495 825 825 2475 1485;
M=165 165 165 165 165 165;
L=45 9 58 5 24 55;
ENDDATA

MIN = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 ;
T4 = K(4) - L(4) ;
T2 = K(4) + K(2) - L(2) + 1 ;
T5 = K(4) + K(2) + K(5) - L(5) + 2 ;
T1 = K(4) + K(2) + K(5) + K(1) - L(1) + 3 ;
T6 = K(4) + K(2) + K(5) + K(1) + K(6) - L(6) + 4 ;
T3 = K(4) + K(2) + K(5) + K(1) + K(6) + K(3) - L(3) + 5 ;
K(1)=U(1)/M(1);
K(2)=U(2)/M(2);
K(3)=U(3)/M(3);
K(4)=U(4)/M(4);
K(5)=U(5)/M(5);
K(6)=U(6)/M(6);

@FREE(T1);
@FREE(T2);
@FREE(T3);
@FREE(T4);
@FREE(T5);
@FREE(T6);

END

Ek-10. Matematik model mevcut kapasite LINGO 18.0 programı ile elde edilen
çözümü

Global optimal solution found.

Objective value: 10.00000
Infeasibilities: 0.000000
Total solver iterations: 0
Elapsed runtime seconds: 0.10

Model Class: LP

Total variables: 0
Nonlinear variables: 0
Integer variables: 0

Total constraints: 1
Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 0
Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
T1	2.000000	0.000000
T2	0.000000	0.000000
T3	5.000000	0.000000
T4	0.000000	0.000000
T5	1.000000	0.000000
T6	2.000000	0.000000
K(1)	21.00000	0.000000
K(2)	3.000000	0.000000
K(3)	5.000000	0.000000
K(4)	5.000000	0.000000
K(5)	15.00000	0.000000
K(6)	9.000000	0.000000
U(1)	3465.000	0.000000
U(2)	495.0000	0.000000
U(3)	825.0000	0.000000
U(4)	825.0000	0.000000
U(5)	2475.000	0.000000
U(6)	1485.000	0.000000
M(1)	165.0000	0.000000
M(2)	165.0000	0.000000
M(3)	165.0000	0.000000
M(4)	165.0000	0.000000
M(5)	165.0000	0.000000
M(6)	165.0000	0.000000
L(1)	45.00000	0.000000
L(2)	9.000000	0.000000
L(3)	58.00000	0.000000

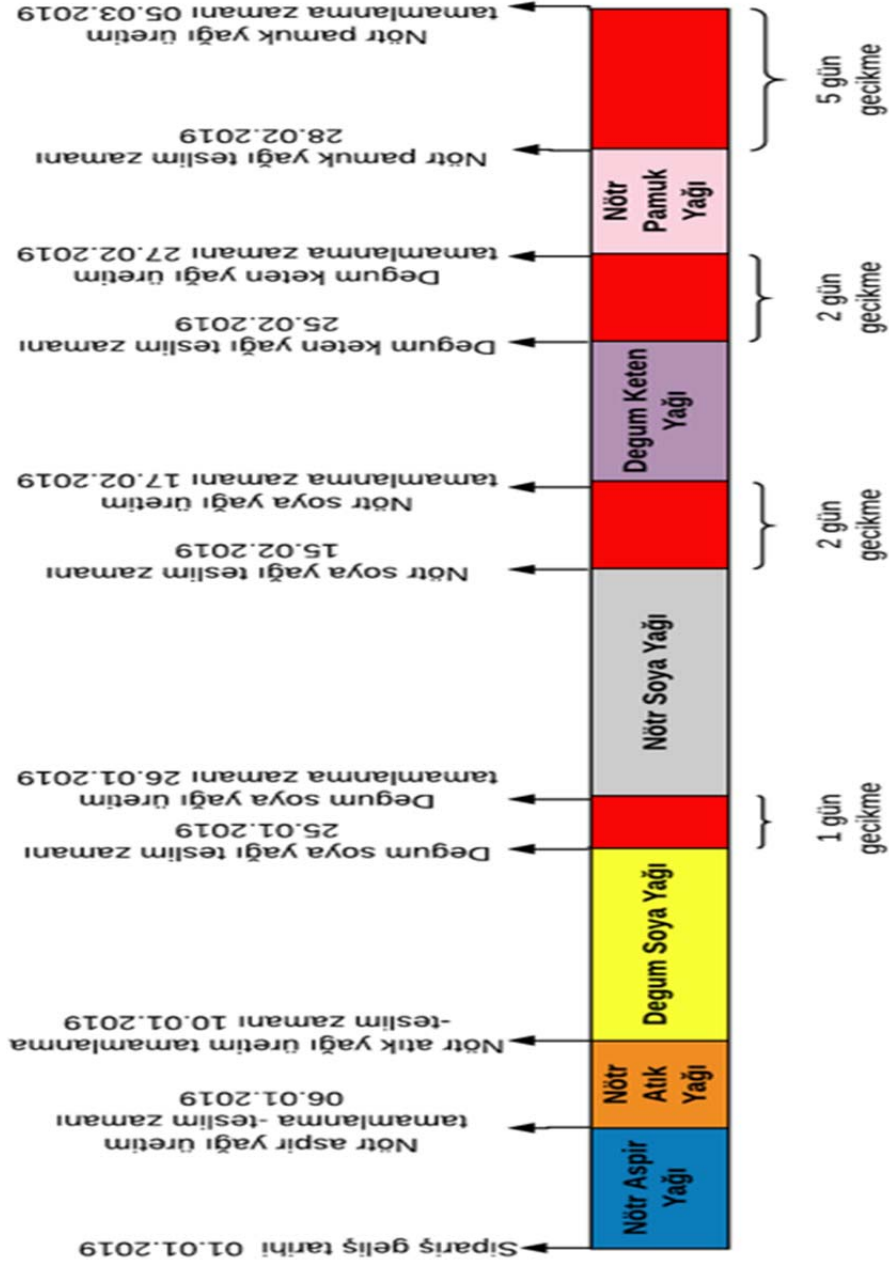
L(4)	5.000000	0.000000
L(5)	24.00000	0.000000
L(6)	55.00000	0.000000



[illegible]

Ürün Adı	Renk
Nötr Aspir	
Nötr Atik	
Degum Soya	
Nötr Soya	
Degum Keten	
Nötr Pamuk	

Ek-12. Rafineri ünitesi mevcut kapasiteler ile gecikme süresi tablosu



Ek-13. Matematik model iyileştirilmiş kapasite LINGO 18.0 programındaki yazılımı

SETS:

URUN/1..6/;
SIPARIS_MIKTARI(URUN):K,U;
KAPASITE(URUN):M;
GEREKLI_SURE(URUN):L;
ENDSETS

DATA:

U=3465 495 825 825 2475 1485;
M=195 165 165 165 195 165;
L=45 9 58 5 24 55;
ENDDATA

MIN = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 ;
T4 = K(4) - L(4) ;
T2 = K(4) + K(2) - L(2) + 1 ;
T5 = K(4) + K(2) + K(5) - L(5) + 2 ;
T1 = K(4) + K(2) + K(5) + K(1) - L(1) + 3 ;
T6 = K(4) + K(2) + K(5) + K(1) + K(6) - L(6) + 4 ;
T3 = K(4) + K(2) + K(5) + K(1) + K(6) + K(3) - L(3) + 5 ;
K(1)=U(1)/M(1);
K(2)=U(2)/M(2);
K(3)=U(3)/M(3);
K(4)=U(4)/M(4);
K(5)=U(5)/M(5);
K(6)=U(6)/M(6);

@FREE(T1);
@FREE(T2);
@FREE(T3);
@FREE(T4);
@FREE(T5);
@FREE(T6);

END

Ek-14. Matematik model iyileştirilmiş kapasite LINGO 18.0 programı ile elde edilen çözümü

Global optimal solution found.

Objective value: -8.923077
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 0
 Elapsed runtime seconds: 0.11

Model Class: LP

Total variables: 0
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 0

Total constraints: 1
 Nonlinear constraints: 0

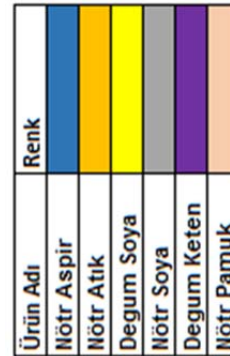
Total nonzeros: 0
 Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
T1	-3.538462	0.000000
T2	0.000000	0.000000
T3	-0.5384615	0.000000
T4	0.000000	0.000000
T5	-1.307692	0.000000
T6	-3.538462	0.000000
K(1)	17.76923	0.000000
K(2)	3.000000	0.000000
K(3)	5.000000	0.000000
K(4)	5.000000	0.000000
K(5)	12.69231	0.000000
K(6)	9.000000	0.000000
U(1)	3465.000	0.000000
U(2)	495.0000	0.000000
U(3)	825.0000	0.000000
U(4)	825.0000	0.000000
U(5)	2475.000	0.000000
U(6)	1485.000	0.000000
M(1)	195.0000	0.000000
M(2)	165.0000	0.000000
M(3)	165.0000	0.000000
M(4)	165.0000	0.000000
M(5)	195.0000	0.000000
M(6)	165.0000	0.000000

L(1)	45.00000	0.000000
L(2)	9.000000	0.000000
L(3)	58.00000	0.000000
L(4)	5.000000	0.000000
L(5)	24.00000	0.000000
L(6)	55.00000	0.000000



08.02.2019					
07.02.2019					
06.02.2019					
05.02.2019					
04.02.2019					
03.02.2019					
02.02.2019					
01.02.2019					
31.01.2019					
30.01.2019					
29.01.2019					
28.01.2019					
27.01.2019					
26.01.2019					
25.01.2019					
24.01.2019					
23.01.2019					
22.01.2019					
21.01.2019					
20.01.2019					
19.01.2019					
18.01.2019					



Ek-16. Rafineri ünitesi iyileştirilmiş kapasiteler ile gecikme süresi tablosu

