



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Sistem Tasarımı Proje Özetleri

2015-2016



**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ**

**SİSTEM TASARIMI
PROJE ÖZETLERİ
2015-2016**

Editör:

Yrd. Doç. Dr. Önder BULUT

Hazırlayanlar:

Araş. Gör. Hande ÖZTOP

Araş. Gör. Özgün ÖZTÜRK

İZMİR 2016

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
SİSTEM TASARIMI PROJE ÖZETLERİ

2015-2016

Editör: Yrd. Doç. Dr. Önder Bulut

ISBN 978-975-6339-56-5

Kubilay Ofset Reprodüksiyon Tic. Ltd. Şti.

Tuna Mah. Sanat Cad. K:1 No:1 Bornova

Tel: 0 232 483 97 00, e-posta: info@kubilayofset.com

İzmir, Haziran 2016

ÖNSÖZ

Müfredatımızın son yılında yer alan ve mezuniyetten önce öğrencilerimize karmaşık gerçek problemler üzerinde çalışma imkânı sunan lisans mezuniyet projeleri, son sınıf öğrencilerimiz tarafından, akademik danışmanları eşliğinde, “Sistem Analizi” ve “Sistem Tasarımı” dersleri kapsamında gerçekleştirilmektedir. Bütün bir akademik yılı kapsayan proje süreci, öğrencilerimizin lisans öğrenimleri boyunca edindikleri bilgi ve yetenekleri, yoğun bir takım çalışması ve sanayi tecrübesi ile tamamlamaktadır.

Üniversite-Sanayi İşbirliği faaliyetlerimizin temel bir parçasını oluşturan bu projelerde, çevremizde üretim yapan veya servis sağlayan şirket ve kurumların endüstri mühendisliği ve yöneylem araştırması teknikleriyle çözülebilecek sorunlarını tespit ederek alternatif çözümler geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda yapılan analizleri, geliştirilen veri yapılarını, elde edilen çözümleri ve raporlamaları kapsayan bir karar destek sistemi yazılımı her bir projenin nihai çıktısıdır.

Hem öğrencilerimize hem de proje ortağımız şirket ve kurumlara büyük değer kattığını düşündüğümüz bu süreç kapsamında, 2015-2016 akademik yılında bölgemizdeki saygın şirketlerde on proje hayata geçirilmiştir. Proje konularımız endüstri mühendisliği problemlerinin geniş yelpazesini yansıtacak niteliktedir. Üzerinde çalışılan problemler ve geliştirilen fikirler, SANTEZ ve TÜBİTAK destekli projelerin kurgulanması gibi farklı işbirliği imkânlarının ön aşamalarını oluşturmaktadır.

Bu kitapta özetlerini derlediğimiz projelerle ilgili daha detaylı bilgi ve gelecekteki işbirliği olanakları için, kitabın son bölümünde verilen iletişim adresleri üzerinden bizlerle temasa geçebilirsiniz.

Sistem Tasarımı Proje Özetleri 2015-2016 kitabı aracılığıyla öğrencilerimizin bir yıl boyunca gösterdikleri yoğun çalışmanın sonuçlarını sizlerle paylaşmaktan mutluluk duymaktayız.

Yrd. Doç. Dr. Önder BULUT

Yaşar Üniversitesi

Endüstri Mühendisliği Bölümü

Lisans Mezuniyet Projeleri Koordinatörü

Haziran 2016



Bu kitapta sunulan özetlerde yer alan veriler, gizlilik gereği gerçeği yansıtmayıp, gözlem ve kıyaslamalara imkân verecek şekilde değiştirilmiştir.

Proje sürecinde özveriyle çalışan **akademik danışmanlarımıza**, projelerimizi destekleyen **şirket danışmanlarımıza** ve yoğun emek veren **öğrencilerimize** en içten teşekkürlerimizi sunarız.

Sistem Analizi ve Tasarımı Komitesi:

**Önder BULUT
Hande ÖZTOP
Özgün ÖZTÜRK**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi için Üretim Planı Geliştirilmesi.....	1
Yalın Muhasebe Temellerine Dayanan, Regresyon Analiz Tabanlı Maliyet Öngörme Modeli	13
Hindi Çiftliği Atama Problemi	25
Oto Tamir Boyalarında Üretim Planlama.....	37
Toplu Ulaşımında Kesikli-Olay Benzetimi Yaklaşımı ile Otobüs Hatları için Zaman Çizelgelemesi	49
Çok Ölçütlü Hammadde ve Müşteri Sınıflandırmasına Dayalı Sipariş ve Stok Tayınlama Kontrolü	61
Beyaz Et Üretim Sürecinde Kesim Planlama Problemi	73
Şarküteri Paketleme Hattında Performans Analizi ve Çizelgeleme	85
Depo Süreçlerinin İyileştirilmesi ve Bir Depo Yönetim Sistem Önerisi.....	97
Teknik Balans Firmasında Üretim Hattı Tasarımı ve Dinamik Kontrolü	109
Proje Uygulama Planı	121
Proje Ekipleri	135

Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi için Üretim Planı Geliştirilmesi

Celka Boru Mil San. ve Tic. A.Ş

Proje Ekibi

Ceyhun Cengiz, Kadir Çetin, Fatma Özge Gürel, Melis Saltabaş

Endüstri Mühendisliği,
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Duygu Türkoğlu, Celka A.Ş. Üretim Departmanı Sorumlusu

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Erdinç Öner, Araş. Gör. Damla Kızılay

ÖZET

Bu projeyi, CNC makinelerine ait üretim planlama sistemini iyileştirmek adına Celka A.Ş. ile birlikte yürütmekteyiz. Firma CNC tezgâhları kullanarak hidrolik silindir üretmektedir. Celka A.Ş. üretim planlaması için belirli bir çizelgelemeye sahip değildir. Firma üretim planlamasını tecrübeli operatörlerin yardımıyla yapmaktadır. İşlerin üretimdeki sırası hazırlık süresini etkilemektedir ve bu da verimliliği azaltmaktadır. Bu sebeplerden dolayı üretimde gecikmeler meydana gelmektedir. Bu projedeki amacımız firmaya yeni bir üretim çizelgelemesi oluşturmaktır. Proje boyunca gerekli olan bütün veriler toplanmış, literatür taraması yapılmış ve bunlara bağlı olarak matematiksel model oluşturulmuştur. Projedeki hedefimiz firmaya yeni bir üretim planı oluşturan esnek bir atölye tipi üretim çizelgelemesi hazırlamak ve makinelerin verimliliğini arttırmaktır.

Anahtar Sözcükler: Atölye Tipi Çizelgeleme, Tamamlanma Zamanı, Üretim Planı, Giffler-Thompson Algoritması.

1. Genel Sistem Analizi

1.1 Genel Bilgiler

Celka A.Ş. 1995 yılında Torbalı/İzmir’de kurulmuştur. Firmanın tam adı Celka Boru Mil Sanayi ve Ticaret A.Ş.’dir. Firma, hidrolik silindir üretimi yapmaktadır. Şirketin tesisleri 16.000 m²’lik bir alan üzerine kurulmuştur. Şirketin yıllık üretimi 100.000 silindir civarındadır. Üç tip silindir üretilir. Bunlar; tek yönlü, iki yönlü ve teleskopik silindirlerdir. Bu ürünler, tarım makineleri, hafriyat ekipmanları, malzeme ambalaj ekipmanları, vinç sanayi, demir-çelik, çöp toplama araçları ve sivil mühendislik projeleri gibi birçok farklı alanda kullanılır.

Celka A.Ş. bir aile şirkettir ve Kavur Grubu tarafından yönetilir. Şirketin başlıca amaçları yüksek kaliteli ürünler üretip, müşteri memnuniyetini en yüksek seviyelere çıkartarak dinamik bir iş çevresine ulaşmaktır.

2. Mevcut Sistemin Analizi

Şirketin makro sistem analizini yaparsak, şu an şirkette çalışmakta olan 58 personel vardır. Bunlardan 42’si mavi yaka, 16’sı beyaz yakadır. Beyaz yakalar satış, idare ve çizim departmanlarında çalışmaktadır. Ayrıca şirkette 5 makine mühendisi ve 2 endüstri mühendisi bulunmaktadır.

Şirketin ürettiği ürünler endüstriyel ürünlerdir ve müşteriler genellikle makine imalatçılarıdır. Ayrıca, her bir departmanda bir birim şefi bulunmaktadır. Şirketteki birim şeflerinin üretilen ürünlerin kalitesini ve çalışanlarının performansını ölçmenin yanında, düzen ve gelen siparişler üzerinde de sorumluluğu vardır. Ek olarak, fabrikanın ISO-9001 kalite yönetim sertifikası bulunmaktadır. Firmada toplam 17 CNC tezgâh bulunmaktadır. Bunlardan 13’ü dikey, 3’ü yatay ve 1 tanesi de yarı otomatik makinedir.

2.1 Üretim Süreci

Bu kısımda, firmanın üretim sürecini açıklayacağız. Üretim süreci şu sırayla ilerlemektedir. Hammadde, kesme, CNC bölümü, montaj, kontrol, boyama ve son olarak nakliyat.

Ham madde: Bu kısımda, malzemeler uzunluk ve çaplarına göre gruplanıp, daha sonra stoklanır.

Kesme: Ham maddeler gelen iş sırasına göre kesilir.

CNC Bölümü: Kesme işleminden sonra malzemeler, CNC tezgâhlarında işlenir veya çizimlerine göre torna işlemine tabii tutulur. Bu bölüm kesme, delme-yontma, diş açma gibi kısımları içerir.

Montaj: İstenilen ürünün bütün gerekli parçaları üretildikten sonra toplanır ve birleştirilir.

Kontrol: Ürünler birleştirildikten sonra kontrol edilir. Eğer ürün kontrol aşamasından geçemezse işlem alanına geri gönderilir.

Boyama: Sistem belirli bir bant üzerinde ilerledikçe ürünler boyanır ve daha sonra kurumaya bırakılırlar.

Nakliyat: Bu aşama son aşamadır. Ürünler nakliyat için paketlenir.

2.2 Gözlemler ve Semptomlar

Bu kısımda, firmada üretim alanında oluşan probleme dayalı olarak gözlem ve semptomlar anlatılmıştır. Bu semptomlar CNC tezgâhlarının dengesiz kullanımı ve yaşanan gecikmelerdir. Fabrikadaki çalışanlar, üretim yapılacak makineyi genelde o anda boşta olma durumuna göre belirlemektedir. Bu yüzden, her bir makinenin çalışma saati farklılık göstermektedir. Bazı makineler tüm gün çalışırken, bazıları ise tüm gün çalışmamaktadır. Fabrika, siparişlerin üretimini müşterilere verilen son teslim tarihine kadar üretmediği ve bu yüzden onlara gönderemediği için gecikmeler yaşanmaktadır. Ayrıca, üretim çizelgeleri

kişisel tecrübeye göre hazırlanmaktadır. Üretim planlama ve çizelgeleme için bilimsel yöntemlere dayalı akıllı bir algoritma kullanılmamaktadır. Bunların sonucunda, müşteriler ürünlerini zamanında teslim alamamaktadır ve müşteri memnuniyeti negatif yönde etkilenmektedir. CNC bölümündeki işlemlerin sıralanması ve işlerin makinelere dağıtımı kişisel tecrübeye dayalı olarak hazırlanmaktadır. Ayrıca, üründen ürüne geçerken hazırlık süreleri bulunmaktadır. Örneğin, CNC tezgâhlarında, üretime başlanmadan önce her ürün tipi için farklı bir kodlama yapılması gerekmektedir. Her yeni ürüne geçişte, bu kodlama yapılmadan üretime başlanamamaktadır. Bunlara ek olarak, ilk ürünler için deneme üretimleri yapılmaktadır. Üstelik üretimin sonunda CNC tezgâhlarının temizlenmesi gerekmektedir. Bütün bunlar, işlerin tamamlanma süresini arttırıp, olumsuz yönde etkilemektedir.

2.3 Problemin Tanımı

Firmanın önceden belirlenmiş bir üretim plan çizelgesi bulunmamaktadır. Firma ürün planlamasını tecrübeli operatörlerin yardımıyla ve anlık gelen siparişlere göre belirlemektedir. Her bir ayrı ürün için yapılan CNC programlamaları hazırlık süresinin artmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda hazırlık süreleri artmaktadır. Firmada bulunan makinelerin çalışma süreleri farklılık göstermektedir. Bunun sebebi operatörlerin sürekli aşına oldukları makineleri kullanmak istemeleridir. Bazı makinelerin çalışma süresi çok fazla iken bazı makineler hiç çalışmamaktadır, makinelerdeki bu düzensizlik verimliliğin düşmesine sebep olmaktadır. Sonuç olarak, üretimde gecikmeler meydana gelmektedir, gelen siparişler zamanında teslim edilememektedir ve müşteri memnuniyeti düşmektedir. Bizim bu projedeki amacımız firmaya akıllı bir algoritma yardımıyla üretim planı oluşturmak ve hangi siparişin hangi makinede ne zaman işlem göreceğini

belirlemek, böylece sipariş çizelgesini elde etmektir. Projemizdeki başarı ölçütlerimiz yeni üretim çizelgelemesi oluşturduktan sonra, üretimde oluşan gecikmeleri azaltmak ve müşteri memnuniyetini arttırmaktır.

2.4 Literatür Taraması

Çizelgeleme problemleri hakkında yapılan birçok çalışma vardır. Bazı çalışmalar sistem analiziyle uğraşmaktadır. Operasyon sıralamasının makinelere bağlı olması önemli bir noktadır. Çizelgelemelerin başlıca performans ölçülerinden biri tamamlanma zamanıdır. Başka bir deyişle, böyle problemler için işlerin tamamlanma süreleri önemlidir. Ayrıca, atölye tipi çizelgeleme problemleri NP-zor problemlerdir (Morganti vd., 2008). Fattahi (2009) araştırmalarında çizelgelemeden bahsetmiştir. Çoklu makine ortamında, işlerin operasyon sıralaması önceden tanımlanmak zorundadır. N tane iş, m tane bağlantısız makinede işlenir. Ayrıca, işlenme zamanları bilinir ve sabittir. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri, atölye tipi çizelgeleme problemlerinden daha zordur (Pezzella vd., 2008). Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinde, her bir operasyon bir makineye atanır. Operasyon sırası her makine için aynı olmak zorundadır. Uygulanabilir bir çizelgeleme, daha önceden tanımlanmış bir amaç fonksiyonunu en aza indirir. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinde iki büyük problem vardır. Bu problemler, amaç fonksiyonunu en az yapmak için her bir operasyonu bir makineye atamak ve bu operasyonları sıralayıp çizelgelemektir (Fattahi, 2009). Mansour ve Rajabinasab (2010) üretim sistemi hakkında bilgi vermektedirler. Yazarlara göre iki önemli konu vardır. Bunlar, süreç planlama ve çizelgelemedir. Bu aktiviteler üretim performansını artırır ve optimize eder. Gerçek ortamlarda çok sayıda dinamik olaylar meydana gelir. Beklenmedik makine arızaları, belirsiz işlem zamanları ve stokastik iş varışları bu dinamik olaylara örnek

verilebilir. Diğer araştırmacılar Chrysolouris ve Subramaniam (2001), dinamik iş çizelgeleme problemlerinde dinamik olaylara izin verilmediğini belirtmişlerdir. Bu dinamik olaylar makine arızaları, tamir ve iş varışları olabilir. Onlara göre iki tür performans ölçüsü vardır. Bunlar işlerin gecikmesi ve iş maliyetidir. Daha sonra, Bruker ve Schile polinom bir algoritma yaratmıştır. Bu algoritma, sadece iki iş için esnek atölye tipi çizelgeleme problemini çözmektedir. Saidi ve Fattahi, matematiksel bir model ve tabu arama sezgisel algoritması önermişlerdir. Bunlar, sıra bağımlı hazırlık zamanlarına bağlı olan esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde yardımcıdır. Ayrıca, bu problemi çözmek için iki sezgiselli hiyerarşik yaklaşım kullanmışlardır. Birinci sezgisel her bir operasyonu bir makineye atamak içindir. İkinci sezgisel bütün makinelerdeki atanmış operasyonları sıralamak içindir. Daha sonra, Hurink bir tabu arama sezgisel algoritması hazırlamıştır. Diğer bir entegre yaklaşım Pauzzere-Peres ve Paulli tarafından sunulmuştur (Arkat vd., 2008).

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemi

Yaptığımız literatür araştırmaları sonucu, bizim problemimize en uygun algoritmanın Giffler-Thompson algoritması olduğuna karar verdik ve matematiksel modelimizi Giffler-Thompson algoritmasından yararlanarak geliştirdik.

3.1 İndeksler ve Setler

i, h : işlerin indeksi ($i, h \in J$)

j, g : operasyonların indeksi ($j, g \in O$)

k : makinaların indeksi ($k \in K$)

J : işlerin seti

O : operasyonların seti

O_{ij} : i işine karşı j operasyonu

K_j : operasyon j'nin işlenebilir olduğu alternatif makinaların seti ($K_j \subseteq K_g$)

$K_j \cap K_g$: operasyon j ve g'nin işlenebilir olduğu makinaların seti

3.2 Parametreler

p_{ijk} : eğer makina k da operasyon O_{ij} gerçekleştirilmişse, onun işlem süresi

M : büyük sayı

3.3 Karar Değişkenleri

C_{max} : tamamlanma süresi

s_{ijk} : k makinasındaki O_{ij} operasyonunun başlangıç zamanı

c_{ijk} : k makinasındaki O_{ij} operasyonunun tamamlanma zamanı

c_i : i işinin tamamlanma süresi

$$x_{ijk} \begin{cases} 1; \text{ eğer } O_{ij} \text{ makine } k' \text{ da gerçekleştirilmişse} \\ 0; \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

$$y_{ijhghk} \begin{cases} 1; \text{ operasyon } O_{ij}, O'_{hg} \text{ den } k \text{ makinasında önce geliyorsa} \\ 0; \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu: Min C_{max}

$$C_{max} \geq C_i \quad \forall i \in J \quad (1)$$

$$c_i \geq \sum_{k \in M_{ij}} c_{ijk} \quad \forall i \in J \quad (2)$$

$$s_{ijk} + c_{ijk} \leq x_{ijk} * M \quad \forall i \in J, \forall j \in O_{ij}, \forall k \in K_j \quad (3)$$

$$c_{ijk} \geq s_{ijk} + p_{kij} + e_{ijk} - (1 - x_{ijk}) * M \quad \forall i \in J, \forall j \in O_{ij}, \forall k \in K_j \quad (4)$$

$$1 - y_{ijghk} \leq M * (2 - x_{ijk} + x_{hghk}) \quad \forall i \neq h, \forall j \in O_{ij}, \forall g \in O_h$$

$$\forall k \in K_j \cap K_g \quad (5)$$

$$2 - (x_{ijk} + x_{hghk}) \leq M * (1 - y_{ijghk}) \quad \forall i \neq h, \forall j \in O_{ij}, \forall g \in O_h$$

$$\forall k \in K_j \cap K_g \quad (6)$$

$$(1 - y_{ijghk}) * M + s_{ijk} \geq c_{hgk} \quad \forall i \neq h, \forall j \in O_{ij} \quad \forall g \in O_h$$

$$\forall k \in K_j \cap K_g \quad (7)$$

$$\sum_{k \in M_{ij}} s_{ijk} \geq \sum_{k \in M_{ij}} c_{i,j-1,k} \quad \forall i \in J, \forall j \in O_{ij} \quad (8)$$

$$\sum_{k \in M_{ij}} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in J, \forall j \in O_{ij} \quad (9)$$

$$s_{ijk} \geq 0, c_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in j, \forall j \in O_{ij}, \forall k \in K_j \quad (10)$$

$$c_i \geq 0 \quad \forall i \in J \quad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in j, \forall j \in O_{ij} \quad \forall k \in K_j \quad (12)$$

$$y_{ijghk} \in \{0,1\} \quad \forall i \neq h, \forall j \in O_{ij} \quad \forall g \in O_h \quad \forall k \in K_j \cap K_g \quad (13)$$

Kısıtların açıklamaları

İlk kısıt, bütün işlerin tamamlanma süresini gösterir. İkinci kısıt, işlerin tamamlama zamanını açıklar. Üçüncü kısıt, eğer operasyon O_{ij} k makinasına atanmamışsa, o makinadaki başlama ve tamamlanma süresinin sıfıra eşit olacağını açıklar. Dördüncü kısıt, k makinasında gerçekleşen işin tamamlama zamanının, başlangıç, işlem ve hazırlık sürelerinin toplamına eşit olması gerektiğini açıklar. Beşinci kısıt, operasyon O_{ij} , operasyon O_{hg} ile aynı makinada işlem görüyorsa sonucun 1'e eşit olmasını sağlar. Altıncı kısıt, operasyon O_{ij} , operasyon O_{hg} ile aynı makinada işlem görmüyorsa, sonucun 0'a eşit olmasını sağlar. Yedinci kısıtta, operasyon O_{ij} ve operasyon O_{hg} , $K_j \cap K_g$ seti içinde herhangi bir makinada aynı anda tamamlanmış olamaz. Bu kısıt bu zorunluluğu garanti eder. Sekizinci kısıt, operasyon O_{ij} 'nin, operasyon $O_{i,j-1}$ bitmeden başlamaması gerektiğini gösterir. Dokuzuncu kısıt, her bir operasyonun ancak ve ancak bir makinada gerçekleştiğini ifade eder. Onuncu kısıt, negatif olmama kısıtını gösterir. On birinci kısıt, negatif olmama kısıtını gösterir. On ikinci kısıtta, ikili kısıt anlatılır. On üçüncü kısıtta, ikili kısıt anlatılır.

3.4 Çözüm Yöntemi

Çizelgeleme problemleri üretim yönetimi alanında karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Çizelgeleme problemlerinde temel amaç, eldeki makinelerde işlem göreceğ olan işlerin en uygun sıralamasını bularak işlerin maksimum tamamlanma zamanlarını en aza indirmektir. Atölye tipi çizelgeleme problemleri, akış tipi çizelgeleme problemleriyle birlikte en çok çalışılmış çizelgeleme problemlerinin başında gelmektedir. Bizim problemimizde atölye tipi çizelgeleme problemlerinden farklı olarak her işin her operasyonunun üretilebileceği alternatif makineler bulunmaktadır. İncelediğimiz akademik makalelerde problemimizin NP-zor problem olduğuna karar verdik. NP-zor problemleri içeren algoritmaları inceledik. Bu algoritmalarından Giffler-Thompson algoritmasının bizim projemize en uygun çözüm yöntemi olduğuna karar verdik. Projemizde Giffler-Thompson algoritmasına ek olarak hazırlık süreleri bulunmaktadır. Oluşturduğumuz matematiksel modelde Giffler-Thompson algoritmasına ek olarak hazırlık sürelerini ekledik ve kendi algoritmamızı oluşturduk.

3.4 Doğrulama, Geçerleme ve Duyarlılık Analizi

Oluşturulan model, "LINGO" ve "Visual Basic for Applications (VBA)" kullanılarak çözülmüştür. Oluşturduğumuz sentetik veriler kullanılarak, LINGO ve VBA sonuçlarında aynı tamamlanma zamanları elde edilmiştir. Örneğin, 2 iş, 2 operasyon ve 3 makine kullanarak çözdüğümüz örnekte, tamamlanma süresi her ikisi için de 49 olarak bulunmuştur. Fakat iş sayısının fazla olduğu, şirketten aldığımız gerçek verilere dayanarak oluşturulan problemde, VBA kullanarak sonuç almanın optimal sonucu elde etmek için daha uygun olduğu gözlenmiştir (164 iş, maksimum 3 operasyon ve 17 makine kullanılarak oluşturulan

problem örneğinin tamamlanma süresi VBA'da 32969 saniye olarak bulunmuştur ve VBA bu problem çözümünü 0,05 saniyede hesaplamıştır). Özetle, kısa zaman aralıklarında hızlı çözüm elde etmek için, fazla iş sayısı olan problemler VBA kullanılarak oluşturulmuştur.

3.5 Karşılaştırma ve Uygulama: İyileştirmeler ve KDS

Karar destek sistemi, gelen siparişlere göre hangi ürünün hangi makinede ne zaman işlenmesi gerektiğini modifiye edilmiş Giffler-Thompson algoritmasını temel alarak Excel-VBA'de hesaplamaktadır. Çizelgeleme işlemi, üretilecek mamul ve yarı mamullerin, üretim aşamalarında gerçekleşecek operasyonlarının, fabrikada mevcut iş istasyonları ve makinelere göre, nasıl dağıtılabileceğinin bulunabilmesi amacıyla yapılmıştır. Oluşturulan karar destek sisteminin izlediği algoritma şu şekildedir:

Reçete tanımları sayfasından, reçete bilgileri alınır. Rota tanımları sayfasından, rota bilgileri alınır. Mamul-rota eşleştirme sayfasından, ürünlere ilişkin rota bilgileri alınır. Mamul-operasyon eşleşmeleri sayfasından, ürünlere ait operasyonların yapılabileceği makine bilgileri ve üretim süreleri alınır. Hazırlık süreleri sayfasından, hazırlık süreleri alınır. Müşteri siparişleri sayfasından, sipariş bilgileri alınır. Makine tanımları sayfasından makine bilgileri alınır. Müşteri siparişlerine ait ihtiyaçlar için reçeteler patlatılır ve alt seviyelerdeki ihtiyaçlar çıkartılır. Her bir ihtiyacın üretimi için gerekli olan ihtiyaçlar çıkartılır.(Örneğin; mamul_1 için yarımamul_1 üretilmiş olmalıdır.) İhtiyaçların çizelgelemesine geçilir. Tüm ihtiyaçlar çizelgenene kadar devam edilir. Çizelgelenebilecek işler listesi çıkartılır.(Örneğin; ilk iterasyonda sadece yarı mamul_4 ve yarı mamul_5 çizelgelenebilir.) Çizelgelenebilecek işler listesi için alternatif çizelgeleme operasyonlarının bulunduğu kartezyen listesi çıkartılır.(Örneğin; yarı mamul_3 makine 5 veya makine 6'da

çizelgelenebiliyorsa, bu iş(ihtiyaç) için iki farklı kartezyen satırı vardır.) Kartezyen listesi ele alınarak, çizelgeleme ölçütlerine en uygun olan iş seçilir.(ölçüt: En erken başlayabilecek iş seçildi.) Seçilen işin başlangıç ve bitiş zamanı bulunur. Seçilen işin hazırlık süresi bulunur. Seçilen iş “çizelgelendi” olarak işaretlenir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Celka A.Ş. ile gerçekleştirdiğimiz bu ortak proje firmanın üretim planlama problemi ele alınarak ihtiyaç duyulan çizelgeleme sisteminin oluşturulması amacıyla yapılmıştır. Firmada yapmış olduğumuz gözlemler sonucunda, çizelgeleme eksikliğinden kaynaklanan üretim aksaklıkları saptanmış, siparişlerin zamanında teslim edilemediği gözlemlenmiştir. Bu yüzden müşteri memnuniyeti azalmıştır. Fabrikadan alınan gerçek veriler kullanılarak üretim hattı için bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Karar destek sistemi herkesin kullanabilmesi amacıyla kullanıcı dostu bir şekilde tasarlanmıştır.

KAYNAKÇA

Celka Boru Mil Sanayi A.Ş. 2016, son giriş; <http://www.celka.com.tr>
Nisan 28, 2016.

Pezzella, P., Morganti, G., & Ciashetti, G. (2008). A genetic algorithm for the Flexible Job-shop Scheduling Problem. *Computers & Operations Research*, 35(10), 3202-3212.

Fattahi, P., Jolai, F., & Arkat, J. (2009). Flexible job shop scheduling with overlapping in operations. *Applied Mathematical Modelling*, 33(7), 3076-3087.

Mansour, S., Rajabinasab, A. (2011). Dynamic flexible job shop scheduling with alternative process plans: an agent-based approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(9), 1091-1107.

Chryssolouris, G., Subramaniam, V. (2000). Dynamic scheduling of manufacturing job shops using genetic algorithms. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12(3), 281-293.

Demir, Y., İşleyen, S.K. (2011). Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems, Atatürk University, Erzurum.

Yalın Muhasebe Temellerine Dayanan, Regresyon Analiz Tabanlı Maliyet Öngörme Modeli

CMS Jant Sanayi A.Ş.

Proje Ekibi

Begüm Kahraman, Cansu Ebru Koylan,
Çağlar Çakır, Merve Oğuz, Muammer Önel

Endüstri Mühendisliği, Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Erdem Torun, Emre Ersen, Uğur İpek

Akademik Danışman

Dr. Efthimia N. Staiou, Araş. Gör. Sel Özcan Tatari

ÖZET

CMS Jant Sanayi fabrikasında mevcut durumda kullanılan maliyet öngörme sistemi; bütçe, maliyet kontrol, maliyet muhasebesi, satış ve planlama departmanında çalışanların kişisel tecrübelerine ve geçmiş verilere dayalı bir şekilde, bazen günler süren ve neredeyse her ay yapılan işlemlerle gerçekleştirilmektedir. Söz konusu olan bu durum, gerçekleşen maliyetlerle kıyaslandığında aradaki fark sapmalarının değişken olduğu görülmüştür. Projenin amacı değer akış maliyetlemesi ve yalın ilkeler temellerinde, öngörme hatasını ve öngörme sürecini en aza indirmektir. Bu doğrultuda geçmiş veriler istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak maliyet tahmin denklemleri oluşturulmuştur. Böylece çalışanlar hazırlanan karar destek sistemi yardımıyla öngörme hatası düşük maliyetler elde etmişlerdir.

Anahtar Sözcükler: Maliyet öngörme modeli, Regresyon analizi, Adım adım regresyon analizi, Değer akış maliyetlemesi.

1. Genel Sistem Analizi

1980 yılında Tonguç Ösen tarafından kurulan CMS Jant Sanayi A.Ş, Türkiye'nin en büyük jant üreticisi ve tedarikçisidir. CMS Makine ve Jant Sanayi A.Ş, 1985 yılından beri dünyada "Hafif Alaşımlı Jant" sektöründe liderliğini korumaktadır. Pınarbaşı, Çiğli ve Gaziemir'de olmak üzere üç yerleşkede üretim yapmaktadır. İlk yerleşkesi olan Pınarbaşı yerleşkesi 1980 yılında kurulmuştur. Sonrasında 2003 yılında Çiğli, 2011 yılında ise Gaziemir yerleşkesinin kurulmasıyla üretim hacimlerini genişletmişlerdir. CMS Jant Sanayi A.Ş yılda yaklaşık 9.500.000 jant satışı yapmaktadır ve Türkiye'de %80'den fazla, Avrupa'da ise yaklaşık %15 pazar payı vardır.

CMS Jant Sanayi A.Ş ürettiği jantların %96'sını OEM yani orijinal ekipman üreticisi olarak gerçekleştirmektedir. CMS şuan Mercedes Benz, Porsche, BMW, Seat, Toyota, Volkswagen, Lancia, Lexus, Mini Cooper gibi birçok firmaya jant üretmektedir.

2. Problemin Belirlenmesi

Maliyetlerde farkların değişkenlik göstermesi ve öngörme sürecinin uzun sürmesi sebebiyle şirkette yeni bir öngörü sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda problemi net bir şekilde belirlememizi sağlayan analizler ve semptomlar detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2.1 Mevcut Sistem Analizi

Mevcut sistemde çalışanlar, geçmiş yılların sipariş ve satış fiyatlarını detaylı olarak analiz ettikten sonra her yeni gelen siparişe birlikte tecrübeleri doğrultusunda analizler yapmaktadırlar. Bu işlem günler sürmekte ve her ay sonunda sipariş gelmeksizin şirketin durumunu görebilmek için tekrarlanmaktadır. Bu işlemler zaman israfına neden olmanın yanı sıra, alınan sonuçlar çoğu zaman gerçeğe yakın olamamaktadır.

2.2 Sistemde Gözlenen Semptomlar

Problemlerin ilk semptomu, tahmini maliyet ve gerçek maliyet arasındaki değer farkı olarak belirlenmiştir. Bir diğer semptom ise maliyet öngörü süresinin uzun olmasıdır. Maliyet tahminlemesi yaklaşık üç dört gün sürmektedir. Ürünün yanlış maliyetlenmesi, fabrikanın üç yerleşkesi arasında üretilen ürün dağılımının paylaşılmasını da etkilemektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı, CMS Jant Sanayi A.Ş., istatistiksel metotlarla oluşturulmuş yeni bir maliyet tahminleme modeline ihtiyaç duymaktadır.

2.3 Problemin Tanımı

Müşteri siparişi fabrikaya geldiğinde; bütçe, maliyet kontrol, maliyet muhasebesi bölümleri, diğer ilgili diğer departmanlarla birlikte gelen sipariş hakkında yaptığı analizler sonucu tahmini bir ürün maliyeti sunmaktadır. Tahmini maliyet, benzer ürünlerin geçmişteki siparişleri baz alınarak geleneksel maliyet muhasebesiyle hesaplanmaktadır. Bu sebepten dolayı, ürünün tahmini maliyeti ile gerçek maliyeti arasında fark ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu hesaplamalar yaklaşık üç gün sürmekte ve her ay düzenli olarak yapılmaktadır. Ancak birim maliyet hesaplamasında mühendislik metotlarıyla oluşturulmuş bir maliyet modeli kullanılması, maliyet hesaplama sürecini kısaltarak gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

2.4 Teknik Yazın Taraması

Problemin tanımı yapıldıktan sonra geliştirilmek istenen model için kaynak oluşturacak yazın taraması yapılmıştır. Teknik yazın taraması yapılırken projemizle ilgili olan “Yalın Muhasebe” ve “Değer Akış Maliyetlemesi” konularını ele alan yazınlar incelenmiştir. Maskell (2003) yaptığı çalışmalarda, yalın muhasebenin yararını şu şekilde özetlemiştir; yalın muhasebe satışları arttırmaktadır. Çünkü yalın muhasebe işletme için karar verme aşamasına sağlam bilgiler sunmaktadır. Eğer standart

maliyet bilgileri (karlılık, fiyatlandırma, piyasa fiyatı bildirme, sermaye yatırımı gibi) kullanılırsa, çoğunlukla yanlış kararlar verilmektedir. Bu nedenle yalın organizasyonlar yalın muhasebeye ihtiyaç duymaktadırlar. Maskell (2009)'in yaptığı bir diğer çalışma incelendiğindeyse yalın muhasebenin israfları elimine ederek kullanılabilir bir kapasite alanı oluşturduğu görülmektedir..

Projede üzerinde çalışılmakta olan problem, yukarıda ifade edilen yalın muhasebenin firma üzerindeki etkilerini temel alarak regresyon teknikleri ile çözüme gitmeyi hedeflemiştir. Çözüm yolunda ise regresyon teknikleri yazınları incelenmiştir. Sykes 1993'te yaptığı çalışmalarda, regresyon analizinin iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodu olduğunu belirtmiştir.

Campbell 2008'de yaptığı araştırmalarda, belirlilik katsayısı denilen R^2 'yi açıklanan değişimin toplam değişime oranı olarak tanımlamaktadır. Regresyon denkleminde bağımsız değişken sayısı arttıkça determinasyon katsayısı sürekli artış gösterir, bu da yanıtıcı olabilmektedir. Bu yüzden düzeltilmiş regresyon katsayısına başvurmak gerekmektedir. Çünkü düzeltilmiş determinasyon katsayısında bağımsız değişkenler arttıkça R^2 değeri düşüş gösterebilmektedir.

Pedhazur'a göre (1982), değişken seçimi regresyon modelinin en zor kısmıdır. Modeldeki birçok değişken arasından en iyi alt kümeyi tanımlamak gerekmektedir. Bunun için dört farklı değişken seçim yöntemi vardır. Bunlar ileri seçim, geriye seçim, adım adım regresyon ve en iyi altküme yöntemidir. Yapılan projede bu sonuca adım adım regresyon metodunu kullanarak ulaşılmıştır. Bu metotta başlangıç olarak y ile en yüksek korelasyona sahip değişken seçilmektedir ve sonrasında birinci dereceden doğrusal regresyon model denklemi kurularak değişkenin anlamlı olup olmadığı kontrol edilmektedir.

Daha sonrasında modele girecek ikinci bir değişken araştırılarak R^2 değerindeki gelişme adım adım izlenmektedir. En son olarak denklemdeki hiçbir değişken elenmiyor ve başka bir değişken modele giremiyorsa süreç sona erdirilerek bulunan en son denklem üzerinden tahminlemeler yapılmaktadır.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Problemin çözümü için gerekli olan faktörlerin seçimi, uygulanan istatistiksel yöntem, yöntemin aşamaları ve ulaşılan sonuç denklemleri bu bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

3.1 Faktörlerin Seçimi

CMS fabrikasının üretim aşamaları incelendikten sonra yapılan teknik yazın taraması doğrultusunda değer akış maliyetlemesi temel alınarak değerlerin olduğu alanlara odaklanılmıştır. Bunlar dökümhane, talaşlı imalat, boyahane ve paketleme olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır. Her biri kendi içerisinde yaklaşık 40 adet faktöre sahiptir. Model numarası, birim ağırlık, çap, müşteri, fire adet ve ağırlığı bunlara örnek olarak gösterilmektedir. Öncelikli olarak birim maliyeti etkileyen değişkenleri doğru olarak saptayabilmek için MINITAB yardımıyla tek değişkenli regresyon analizi uygulandı. Hangi parametrenin kullanılacağına karar verebilmek amacıyla karşılaştırılan verilerin R^2 değerleri incelendikten sonra yüksek olan değerler seçilerek aynı zamanda varyans artış faktörleri (VIF) kontrol edildi. VIF değerlerinin birden büyük ama kesinlikle beşten küçük olması gerektiğini Marguardt 1970'te yaptığı çalışmalarda belirtmiştir. Eğer herhangi bir VIF değeri beşten büyükse modelin yeniden düzenlenmesi gerekebilmektedir. Çünkü bu gibi durumlarda VIF değerinin ait olduğu en küçük kareler katsayısı kötü tahminlenmiştir ve değişkenler arasında yüksek korelasyon mevcuttur. Korelasyon bir değişkeni tahmin eden en az iki değişken arasında çok yüksek ilişkinin olması durumudur. Aralarındaki ilişki çok

yüksek olan iki değişken kısmen birbirinin çok benzeri olacağından ikisinden birisinin atılması uygun olacaktır. Dökümhane bölümü değişkenleri için yapılan regresyon analizleri sonucunda maliyeti en çok etkileyen değişkenlerin brüt birim ağırlık, çap, fire oranı ve saat bazında ürün başına düşen işçilik miktarı olduğuna karar verildi. Talaşlı imalat bölümü göze alındığında maliyeti etkileyen iki farklı durumun söz konusu olduğu saptandı. Bunun nedeni olarak üretim sonucu çıkan yan ürünlerin; yani talaşlar ve janttan çıkartılan havuçların satılarak maliyeti düşürmesi belirlenmiştir. Yani bu üretim aşamasında üretim maliyetinin yanı sıra üretim kârı da olmaktadır. Bundan dolayı regresyon işlemi yapılırken talaşlı imalat bölümü kâr ve maliyet olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Kâr için seçilen faktörler oluşan havuç/talaş miktarı ve fire oranı iken; maliyeti etkileyenler çap, brüt birim ağırlık, saat bazında ürün başına düşen işçilik miktarı ve fire oranı olarak belirlenmiştir. Boyama bölümünde ise maliyeti; fire oranı ve saat bazında ürün başına düşen işçilik miktarı faktörlerinin yanında, grup boya tipinin de kategorik değişken olarak etkilediği gözlenmiştir. Paketleme bölümü için saat bazında ürün başına düşen işçilik miktarı, birim adet paketleme miktarı ve paketleme tipi maliyeti etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir.

3.2 Regresyon Modeli

Hocking (1976) tarafından regresyon denklemlerinin temel kullanım amaçları şu şekilde açıklanmıştır. Yanıt değişkeninin davranışının iyi bir tanımını oluşturmak, sonucun gelecek değerlerinin belirlenmesi ve ortalama sonucun tahminlenmesi, veri setinin sınırları dışındaki sonucun belirlenmesi, parametrelerin tahminlenmesi, bağımsız değişken seviyelerini değiştirerek süreci kontrol etmek ve sürecin gerçek modeline yaklaşmak olarak listelenmiştir. Tüm bu amaçlar doğrultusunda modeldeki değişken sayısının azaltılması denklemin daha basit bir yapıda olmasını sağlarken bu denklemin oluşturulması ve kullanılması için

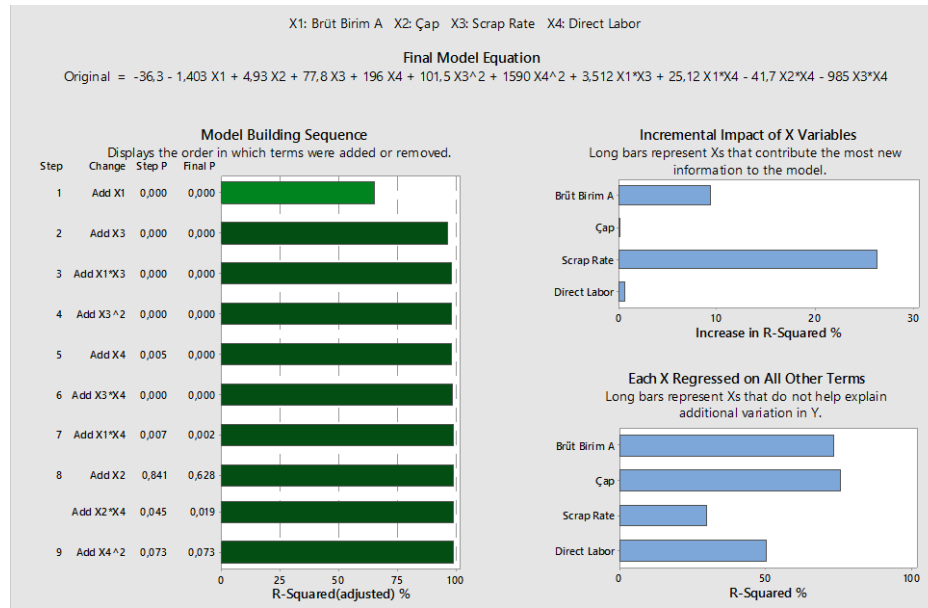
gerekli olan verilerin elde edilmesi daha kısa sürede ve daha ekonomik olacaktır. Bu da yalının en önemli ilkelerinden biri olan israflardan daha kolay ve kesin sonuçlarla kurtulmamızı sağlayan işlemlerden birisidir. Projenin çözüm aşamasında ilk adım şirketin hesaplamaları için kullandığı bütçe verilerini değer akış şemasına göre düzenlemek ikinci adım ise seçilen regresyon metoduyla hesaplama uygun hale getirmek olmuştur. Bu doğrultuda tek değişkenli regresyon analizlerinin sonucunda kullanılacak parametrelerden veri seti oluşturulmuştur. Teknik yazın taramasında yapılan araştırmalar sonucunda metotlar detaylı olarak incelenip verilerle kıyaslama sağlandığında en uygun metot olarak adım adım regresyon kullanılmasına karar verilmiştir. Tüm bu işlemler MINITAB sayesinde sağlıklı ve güvenilir olarak gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda R^2 , R^2_{adj} ve VIF değerleri kontrol altında tutularak sonuca ulaşılmaktadır.

4. Sayısal Sonuçlar

Sonuçlar MINITAB çıktıları üzerinden analiz edilerek yorumlanmıştır. Bu çıktılar arasında her bir bölüm için özet rapor, teşhis raporu ve model raporu ayrı olarak değerlendirilmiştir. Kullanılan özet raporu sayesinde modelin p ve R^2 değerleri incelenirken, etki raporuyla değişkenler arası ilişkiler detaylı bir şekilde gözlemlenmiş, teşhis raporuyla incelenmesi gereken noktalar ve grafikler yorumlanmıştır. Son olarak model raporu sayesinde değişkenlerin R^2 üzerindeki ve denkleme olan etkileri gözlemlenmiştir.

Şekil 1’de görüldüğü gibi çap, fire oranı, birim üründeki işçilik saati ve brüt birim ağırlık denklemlerin değişkenleri olarak saptanmıştır p değeri 0,001’den küçük ve R^2_{adj} değeri %98,93 bulunmuştur. P değeri, test edilen bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında ilişki olup olmadığı sorusunu cevaplar. Elde ettiğimiz değer, bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı

olduğunu göstermektedir. R^2_{adj} değeri de, bulunan regresyon modelinin, bağımlı değişken varyasyonunu %98,93 oranla açıkladığını göstermektedir. Dökümhane için 96 adet veriyle gerçekleştirilen analiz, ilişkinin gücünü hassas şekilde tahmin etmek için yeterli olarak hesaplanmıştır. Olağan dışı veriler kontrol edilerek hatalı olanlar silinmiş ya da fabrikayla iletişim içinde kalınarak düzeltilmiştir. Bu analizde en az 15 veri noktası olması nedeniyle, normallik bir sorun yaratmamıştır. Eğer veri noktalarının sayısı azsa ve artık noktalar normal dağılım göstermemişse, bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin kuvvetini belirleyen p değeri anlamlı olmayabilir.



Şekil 1. Dökümhane için Model Raporu

Yukarıda anlatılan analizlerin tamamı tüm bölümler için tekrarlanmıştır. Bu doğrultuda talaşlı imalat departmanı analizinde maliyet ve gelir olmak üzere iki modelimiz bulunmaktadır. Maliyet için seçilen değişkenler çap, fire oranı, ürün başına işçilik miktarı ve brüt birim ağırlık olmuştur; R^2_{adj} değeri %85,13 bulunmuştur. Gelir için talaş

miktarı ve fire oranı değişkenler olarak seçilerek R^2_{adj} değeri %97,08 bulunmuştur. 102 adet veriyle gerçekleştirilen talaşlı imalat departman analizi, ilişkinin gücünü hassas şekilde tahmin etmek için yeterli olarak hesaplanmıştır. Buna paralel olarak normallik de bir sorun yaratmamıştır.

Tablo 1. Departmanlara Ait Öngörü Modelleri

	Model
Dökümhane	$-36,3 - 1,403 X_1 + 4,93 X_2 + 77,8 X_3 + 196 X_4$ $+ 101,5 X_3^2 + 1590 X_4^2 + 3,512 X_1 * X_3$ $+ 25,12 X_1 * X_4 - 41,7 X_2 * X_4 - 985 X_3 * X_4$
Talaşlı İmalat (Maliyet)	$70,5 - 3,997 X_1 + 124,6 X_2 + 0,226 X_3 - 403,6 X_4$ $+ 76,2 X_2^2 + 106,7 X_4^2 + 25,12 X_1 * X_4 - 7,52 X_2 * X_3$
Talaşlı İmalat (Gelir)	$1,040 + 3,058 X_1 - 20,9 X_2 + 7,87 X_1 * X_2$
Boyama	$CS = 0,823 + 54,21 X_1 + 2,09 X_2$ $Diamond = 0,07 + 54,21 X_1 + 5,17 X_2$
Paketleme	A tipi boya = $-1,129 + 84,01 X_1 - 0,0194 X_2$ B tipi boya = $0,305 + 26,55 X_1 + 0,2071 X_2$ C tipi boya = $0,420 + 48,6 X_1 - 0,006 X_2$ D tipi boya = $0,221 + 49,68 X_1 + 0,1367 X_2$

Boyama departmanında fire oranı, grup boya tipi ve birim ürün başına işçilik miktarı denklemlerin değişkenleri olarak saptanmıştır ve R^2_{adj} değeri %87,02 bulunmuştur. 79 adet veriyle gerçekleşen analiz, yeterli olarak hesaplanmıştır ve normallik bir sorun yaratmamıştır.

Final olarak paketleme departmanında birim adet paketleme miktarı, birim ürün başına işçilik miktarı ve paketleme tipi denklemlerin değişkenleri olarak seçilmiştir ve R^2_{adj} değeri %89,68 bulunmuştur. 201 adet veriyle gerçekleşen analiz, yeterli olarak hesaplanmıştır ve normallik bir sorun yaratmamıştır. Analizler sonucu elde edilen modeller Tablo 1’de gösterilmektedir.

4.1 Doğrulama, Geçerleme ve Duyarlılık Analizi

Yapılan analizler sonucunda bulunan maliyet öngörme denklemleri fabrikanın verileri üzerine uygulanarak tahminlenmiş maliyetler elde edilmiştir. Her bir bölüm için uygulandıktan sonra gerçekleşen ve öngörü maliyetleri arasındaki farklar bulunarak ortalama değerlerine ve standart sapma değerlerine ulaşılmıştır. En son olarak bu farklılıkların toplamda etkisini görebilmek amacıyla yüzde değerleri hesaplanmıştır.

Tüm sonuçlar doğrultusunda çalışanlar sadece öngörülen maliyeti kesine yakın sonuçlarla hesaplamakla kalmayarak, jant modellerinin maliyete etkilerine de doğrudan ulaşabilmekte ve sapmanın yüksek olduğu değerler üzerinde yoğunlaşarak mali verileri sürekli olarak gözlem altında tutabilme imkânı bulmuşlardır. Bölüm bazında veriler analiz edildiğinde aşağıdaki Tablo 2 karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 2. Bölümlerin sonuç tablosu

	Aradaki Fark	Standart Sapma
Dökümhane	0,19	1,48
Talaşlı İmalat	0,87	1,99
Boyahane	0,17	0,93
Paketleme	1,11	2,65

4.2 Karar Destek Sistemi

Tüm bunları arka planındaki VBA kodları sayesinde tek bir tuşla kısa sürede gerçekleştirebilen bir karar destek sistemi (KDS) tasarlanmıştır. Programda başlangıç ekranında jant tipi, boya türü, fire oranı dâhil istenen tüm değişkenlerin değerlerini sisteme tanımlayarak kısa süre içerisinde öngörülen toplam maliyete ulaşılabilir. Programın başarılı bir şekilde çalışabilmesi için regresyon modeli sonucunda bulunan tüm regresyon denklemleri VBA kodları sayesinde programa girilmiştir. Mühendislik temellerinde ve projenin başında hedeflenen doğrultusunda bir saatten çok daha az bir sürede doğruluğu

%90'ın üzerinde bir model elde edilmiştir. Modelin arka planındaki veriler yenileriyle değiştirildiğinde programda yer alan regresyon butonu aracılığıyla regresyonu kendiliğinden gerçekleştirerek kullanıcıların sürekli olarak programı kullanabilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca programa eklenen yardım butonu sayesinde kullanıcıların kullanım kılavuzuna kısa sürede ulaşmaları sağlanmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

CMS Gaziemir fabrikasından alınan veriler değer akış şemasına uygun hale getirilerek veri setleri hazırlanmıştır. Teknik yazın araştırması doğrultusunda yalın muhasebe temellerine dayanan adım adım regresyon analiz tabanlı maliyet öngörme modeli oluşturulmuştur.

Projenin sonunda kişisel deneyim ve eski verilere bağlı kalınarak her ay günlerce süren analizler sonucu elde edilen toplam maliyet tahmini, on dakika gibi kısa bir sürede regresyon analizlerinden elde edilen modellerle çalışan karar destek sistemi sayesinde gerçeğe en yakın maliyetleri elde etmektedir. Böylece projenin başında fabrikayla yapılan toplantılar doğrultusunda maliyet tahminlemesinin doğruluğunun %10 gibi bir değere yaklaşması, tahminleme süresinin bir saate düşürülmesi ve oluşturulan maliyet modelindeki R^2_{adj} değerinin en az %80 olması gibi konulan hedeflere ulaşılmıştır.

Bu maliyet öngörme modeli yalnızca CMS Jant ve Sanayi firması için değil maliyetlerini öngörmek isteyen bütün firmalar için uygulanabilecek alt yapıya sahiptir. Aynı zamanda kullanıcı ihtiyaç ve isteklerine göre yeniden tasarlanabilmekte veya geliştirebilmektedir.

KAYNAKÇA

Baggaley, B., Maskell, B. H. 2003. "Value stream management for lean companies part II", Journal of cost management, 17(3), 24-30.

- Campbell, D., S. 2008. "Introduction to Regression and Data Analysis", StatLab Workshop Series.
- CMS, <http://www.cms.com.tr/about-us>
- Hocking, R. R. (1976). A Biometrics invited paper. The analysis and selection of variables in linear regression. *Biometrics*, 32(1), 1-49.
- Katko, N. S. (2013). "Lean CFO".
- Maskell, B., Baggaley, B. (2003). "Practical lean accounting: a proven system for measuring and managing the lean enterprise". New York: Productivity Press.
- Maskell, B. H. 2009. "Making the Numbers Count". London: Taylor&Francis Group.
- Pedhazur, E. J. (1997). Multiple regression in behavioral research: Explanation and prediction.
- Ohno, T. (1988). "Toyota Production System Beyond Large-scale Production: Productivity".
- Sykes, A. O. 1993. "An Introduction to Regression Analysis". Chicago Working Paper in Law & Economics.

Hindi Yetiştirme Planlama Sistemi Tasarımı

Çamlı Yem Besicilik Sanayii ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Berkan Ergin
Begüm Kozanoğlu
İsmet Korhan Türkbay
Canan Yılmaz

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Gündüz İlsever, Çamlı Yem Besicilik Sanayii ve Ticaret Şirketi,
Kanatlı Üretim İşletme Müdürü

Akademik Danışmanlar

Özge Büyükdağlı, Yaşar Üniversitesi
Prof. Dr. Levent Kandiller, Yaşar Üniversitesi

ÖZET

Bu raporda hindi yetiştiriciliği yapan Çamlı Yem'in atama problemi ve bu problem için oluşturulan çözüm yöntemi anlatılmaktadır. İlk olarak, projenin yapıldığı şirket hakkında kısa bir bilgi verilmekte ve mevcut sistem anlatılmaktadır. Problemin belirtileri verilir, tanımı yapılmaktadır. Ayrıca, problemin çözümü için oluşturulan matematiksel ve sezgisel yöntemlere yer verilmektedir. Oluşturulan modeller karşılaştırılarak çözüm yönteminin optimale yakınlığı incelenmektedir. Ayrıca, Çamlı Yem'in mevcut sistemi ile sezgisel modelin sonuçları karşılaştırılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Atama problemi, matematiksel ve sezgisel modeller, karar destek sistemi.

1. Giriş

Bu rapor, dönem boyunca bitirme projesi için yapılan çalışmalarını içermektedir. Bu proje Çamlı Yem şirketinde gerçekleştirilmiştir. Çamlı Yem, yem üretimi ve hindi yetiştiriciliği yapan bir şirkettir. Bu projede, hindi yetiştiriciliği üzerinde durulacaktır.

Bu dokümanda, firma ile ilgili genel bilgiler, girdi ve çıktıları, hindi yetiştirme süreci ile ilgili bilgiler sistemin genel analizi altında açıklanacaktır. Mevcut sistem analizinden ve teknik yazın taramasından ayrıntılı bir şekilde bahsedilecektir ve projedeki problem tanımlanacaktır. Ayrıca, problemin formülasyonu içinde kısıtlar, varsayımlar ve matematiksel model ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır. Ek olarak, doğrulama, geçeleme ve duyarlılık analizi sonuçları incelenecektir. Son olarak iyileştirmelerden ve geliştirilen karar destek sisteminden bahsedilecektir.

Kısaca, bu rapor dönem boyunca proje için yapılan teknik çalışmalarını içermektedir. Bu dokümanda proje için yapılan tüm çalışma aşamalarını inceleyebilirsiniz.

2. Genel Sistem Analizi

Çamlı Yem, üretime 1983 yılında başlamıştır. Şirket, İzmir ve Manisa etrafında faaliyet göstermektedir. Türkiye’de ilk yem üretimi ve ilk hindi üretimini yapan firmadır. Şirket, küçük ve yılbaşılik hindi olmak üzere iki çeşit hindi üretir.

Hindi üretimi Seferihisar fabrikasındaki kuluçkahanede başlar. İzmir ve Manisa çevresindeki çiftliklerde devam eder. Fabrikanın sözleşmeli olduğu 60 tane çiftlik ve bu çiftliklerin sahip olduğu toplam 109 kümes vardır. Kümeslerin kapasiteleri birbirinden farklıdır ve her kümeste tek bir cins hindi yetiştirilir. Yetiştirilen civcivlerin yemleri Çamlı Yem tarafından karşılanır. Yetiştirilen bu civcivler olgunlaşp hindiye dönüştükten sonra Pınar Et’e gönderilir.

Hindi üretim süreci Pınar Et'ten gelen siparişler ile başlar. Bu siparişler karkas tonajı üzerinden altı aylık olarak verilir. Daha sonra bu tonaj canlı hindi sayısına Çamlı Yem tarafından çevrilir. Belirlenen hindi sayısına göre yumurta siparişi Kanada'dan verilir. Yumurtaların Kanada'dan Seferihisar'a geliş süresi bir aydır. Yumurtalar geldikten sonra 25 gün kuluçka makinasında kalır ve 28 günün sonunda civcivler yumurtadan çıkar. Çıkan civcivler dişi (Hen) ve erkek (Tom) olarak ayrılır. Metrekare başına beş tane dişi civciv ve üç tane erkek civciv düşecek şekilde çiftliklere gönderilir. Dişilerin ortalama yetiştirme süresi 105 ve erkelerin ortalama yetiştirme süresi 120 gündür. Yetiştirme süresini tamamlayan hindiler kesilmek üzere Pınar Et'e gönderilir.

3. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

Çamlı Yem'den alınan bilgiler doğrultusunda problemin civciv atama problemi olduğu belirlenmiştir. Problemi belirlemede yardımcı olacak analizler ve bu analiz sonucu elde edilen gözlemler ve teknik yazın taraması alt başlıklarda belirtilmiştir.

3.1. Mevcut sistemin analizi

Bu projede, hindi yetiştirme sürecine odaklanılarak hindilerin şirketin sözleşmeli olduğu çiftliklere dağıtımını üzerine çalışılmıştır. Hindi dağıtımını Çamlı Yem'in kuluçkahanesinden Pazar günü hariç haftanın her günü yapılmaktadır.

Hindilerin çiftliklere atanmasından Çamlı Yem'in planlama departmanı sorumludur. Planlama departmanı atamaları sistematik olarak yapamamaktadır. Bunun sonucunda, yaptığı planlamalarda sorun yaşamaktadır. Bu sorunlardan biri, Çamlı Yem'in geleceği görememesi nedeniyle civcivlerin çıkım tarihlerini bilememesi, kümesleri kontrol edememesi ve atamayı düzgün olarak yapamamasıdır. Diğer bir sorun, rastgele atama yapılmasından dolayı metrekareye düşen civciv sayısının belirlenen orandan fazla atanması nedeniyle sıkışıklık meydana

gelmesidir. Ek olarak diğer bir sorun ise, hindilerin hedeflenen zamanda kesilememesidir.

3.2. Problemin tanımı

Yukarıda belirtildiği gibi Çamlı Yem atamaları sistematik olarak yapamamaktadır. Bu durum planlama yaparken bazı aksaklıklara neden olmaktadır. Bu aksaklıklar civcivlerin uygun miktarda, uygun kümese, istenilen zamanda gönderilmemesidir. Bunun sonucunda maliyet artar.

3.3. Teknik yazın taraması

Bu projedeki problem, Pınar Et'ten gelen talepler doğrultusunda civcivlerin uygun çiftliklere, doğru zamanda atanmamasıdır. Bu problemi çözmek için ana üretim çizelgeleme, paralel makine çizelgeleme, tesis yeri ve tahsis, atama ve kutu paketleme problemleri üzerine bir yazın taraması yapılmıştır. Bu yazın taraması sonucu elde edilen bilgiler ile bizim problemimiz arasındaki benzerlikler aşağıda anlatılmaktadır.

3.3.1. Ana üretim çizelgeleme problemi

Ana üretim çizelgeleme problemi ile arasındaki benzerlikler şu şekildedir: Zaman değişkendir, iki ürün ve ürün kullanılabilirliği vardır, kapasite kısıtlamaları ve tek müşteri vardır, gelecekteki talep belirlidir ve sabittir. Özellikle Robinson (2008) ve Gao (2008); Vargas (2011) ve Metters (2011) ana üretim çizelgeleme problemlerinde bu durumlardan bahsetmiştir.

3.3.2. Paralel makine çizelgeleme problemi

Paralel makine çizelgeleme problemi ile arasındaki benzerlikler şu şekildedir: Gelen işler herhangi bir makinede işlenebilmektedir, gelen bir iş için birden fazla makine kullanılabilir ve aynı iş için tüm makinelerdeki işlem süreleri aynıdır. Özellikle Shmoys (1995), Wein (1995) ve Williamson (1995); Glass (2004) ve Kellerer (2004) paralel makine çizelgeleme problemlerinde bu durumdan bahsetmiştir.

3.3.3. Tesis yeri ve tahsis problemi

Tesis yeri ve tahsis problemi ile arasındaki benzerlikler şu şekildedir: Kapasitelere göre tesis yerleri seçilmektedir, toplam maliyeti azaltmak için tesislerin nerede açık olduğuna karar verilmektedir, tesisler belli kapasitelere sahiptir, her bir talebe birçok tesis tarafından hizmet verilebilmektedir. Özellikle Snyder (2006); Shmoys (1997), Tardos (1997) ve Ardal (1997) tesis yeri ve tahsis problemlerinde bu durumdan bahsetmiştir.

3.3.4. Atama problemi

Atama problemi ile arasındaki benzerlikler şu şekildedir: Amaç, atama maliyetini en aza indirmektir, t süresi boyunca n işleri m makinelerine atanmaktadır ve her iş en az bir makine tarafından işlenmektedir. Özellikle Munkres (1997); Shmoys (1993) ve Tardos (1993) atama problemlerinde bu durumlardan bahsetmektedir.

3.3.5. Kutu paketleme problemi

Kutu paketleme problemi ve bu projedeki problem arasındaki benzerlikler şu şekildedir: Kutular yetkilendirilmiştir, parça hacimleri genellikle kutu kapasitelerini aşmaktadır ve zaman boyutu vardır. Özellikle Lodi (2014), Martello (2014) ve Vigo (2014); Hopper (2009) ve Turton (2009) kutu paketleme problemlerinde bu durumlardan bahsetmiştir.

4. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemi

Bu projedeki problemi çözmek için bir matematiksel model geliştirmiştir. Bu modelin amacı, ardışmarlamayı, talep açığı ve envanteri en aza indirmektir. Oluşturulan matematiksel modeli aşağıda bulabilirsiniz.

4.1. Kısıtlar ve varsayımlar

- Ardışmarlama, erken kesim olarak kabul edilmektedir.
- Envanter, geç kesim olarak kabul edilmektedir.

- Kuluçkahane ve kesimhane kapasiteleri bilinmektedir.
- Talepler belirlidir.
- Dişi (Hen) ve erkek (Tom) olarak iki cins hindi vardır.
- Tüm kümeslerde her bir cins hindinin yetiştirme süresi aynıdır.
- Bir haftada, her bir kümesin kurulum süresi aynıdır.
- Cıvıvlar, çıkımdan sonra hemen kümeslere atanırlar.
- Hiç bir ulaşım maliyeti ve zaman yoktur.
- Kümeslerin, atama için hazır olma süreleri bilinmektedir.

4.2. Matematiksel model

Kümeler ve Endeksler:

t: Zaman periyodu, $t \in \{1, 2, \dots, T\}$

c: Kümes, $c \in \{1, 2, \dots, C\}$

s: Cıvıvların cinsiyeti, $s \in \{Hen, Tom\}$

Parametreler:

D_t: t zamanındaki karkas talebi.

K_{cs}: Cıvıvların cinsiyetlerine göre kümeslerin kapasitesi.

F_{cs}: Cinsiyete bağlı kümeslerdeki ölüm oranı (%).

H: Cıvıvların sayılarına göre kuluçkahane kapasitesi.

v_s: Cıvıvların cinsiyete bağlı yetiştirme süresi.

R_c: Kümeslerin hazır olduğu zaman.

φ_t: Zamana bağlı erken kesim maliyeti.

μ_t: Zamana bağlı geç kesim maliyeti.

W_s: Hindilerin cinsiyetlerine göre birim ağırlığı.

α: Kuluçkahanedeki Hen ve Tomlar'ın oranı.

M: Büyük bir sayı.

V_t: Zamana bağlı talep açığı maliyeti.

S: Ağırlık bazında ortalama kesimhane kapasitesi.

Karar Değişkenleri:

$$Y_{ct}^s = \begin{cases} 1, & t \text{ zamanında } c \text{ kümesine } s \text{ cinsiyeti atanmış ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

X_{ct}^s = t zamanında c kümesine s cinsiyetinden gönderilen civciv sayısı.

B_t : t zamanında bulunan ardısmarlama.

I_t : t zamanında elimizde bulunan envanter.

δ_t : t zamanında oluşan ve karşılanamayan talep açığı.

Model Formülasyonu

$$\text{Minimize } \sum_{t=1}^T (\varphi_t B_t + \mu_t I_t + V_t \delta_t) \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{t=1}^{R_c-1} Y_{ct}^s = 0, \forall c, \forall s \quad (2)$$

$$\sum_{\Delta t=0}^{v_{hen}+1} Y_{c,t+\Delta t}^{hen} + \sum_{\Delta t=0}^{v_{hen}+1} Y_{c,t+\Delta t}^{tom} \leq 1 + M(1 - Y_{ct}^{hen}), \forall c, \forall t, t = 1, \dots, T - v_{hen} - 1 \quad (3)$$

$$\sum_{\Delta t=0}^{v_{tom}+1} Y_{c,t+\Delta t}^{hen} + \sum_{\Delta t=0}^{v_{tom}+1} Y_{c,t+\Delta t}^{tom} \leq 1 + M(1 - Y_{ct}^{tom}), \forall c, \forall t, t = 1, \dots, T - v_{tom} - 1 \quad (4)$$

$$\sum_s Y_{ct}^s \leq 1, \forall c, \forall t \quad (5)$$

$$\alpha \sum_{c=1}^C X_{ct}^{hen} - (1 - \alpha) \sum_{c=1}^C X_{ct}^{tom} = 0, \forall t \quad (6)$$

$$X_{ct}^s \leq K_{cs} Y_{ct}^s, \forall c, \forall t, \forall s \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^C X_{ct}^{hen} + X_{ct}^{tom} \leq H, \forall t \quad (8)$$

$$\sum_{c=1}^C [W_{hen} (1 - F_{chen}) X_{c,(t-v_{hen})}^{hen} + W_{tom} (1 - F_{ctom}) X_{c,(t-v_{tom})}^{tom}] + B_{t+1} + \delta_t + I_{t-1} - I_t - B_t = D_t, \forall t, t = \min_s (v_s), \dots, T \quad (9)$$

$$D_t - \delta_t \leq S, \forall t \quad (10)$$

$$Y_{ct}^s = \{0,1\}, \forall c, \forall t, \forall s \quad (11)$$

$$X_{ct}^s \geq 0, \forall c, \forall t, \forall s \quad (12)$$

$$B_t, I_t, \delta_t \geq 0, \forall t \quad (13)$$

Amaç fonksiyonu (1) t zamanındaki ardısmarlama maliyetini, envanter maliyetini ve talep açığı maliyetini minimuma düşürür. Kısıt (2) hazırlık zamanlarına bakarak o süre boyunca kümelere atama

yapılmasını engeller. Kısıt (3) ve (4) bir kümese hayvan atadığımızda kümes boşalınca kadar o kümese yeniden atama yapmayı engeller. Kısıt (5) kümeslere atanan civcivlerin cinsiyetlerini erkek ya da dişi olarak ayırmaktadır. Kısıt (6) kuluçkahanedeki dişi ve erkek civcivlerin arasında belli bir oran olduğunu göstermektedir. Kısıt (7) kümes uygun olduğunda kümesin kapasitesi kadar civciv gönderilir. Kısıt (8) kuluçkahanedeki toplam hindi sayısı kuluçkahane kapasitesini aşamaz. Kısıt (9) talep denklemidir. Kısıt (10) kesimhane kapasitesi denklemidir. Değişkenlerin aralıkları (11)-(13) kısıtlarında verilmiştir.

4.3. Çözüm Yöntemi

Lingo Programı'nda çalıştırılan matematiksel modelin boyutu arttıkça çözümün sonuca ulaşması zaman aldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, sezgisel yönteme geçilerek daha kısa sürede çözüme ulaşmak için yeni bir algoritma Excel Visual Basic programında geliştirilmiştir. Algoritma şu şekilde çalışmaktadır: İlk olarak, kümes kapasiteleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. Daha sonra, atanacak olan civcivlerin kümes kapasitelerine uygun olup olmadığı kontrol edilir. Eğer civcivlerin sayısı kümes kapasitesinden büyük ise kümesin kapasitesi kadar civciv atanır, kalan civciv sayısı boş olan en büyük kümes kapasitesi ile karşılaştırılır. Eğer, civciv sayısı kümes kapasitesinden büyük ise kümes kapasitesi kadar civciv atanır. Bu işlem, civciv sayısı kümes kapasitesinden küçük olana kadar devam eder. Eğer, civciv sayısı boş olan en büyük kapasiteli kümeden küçük ise büyük olan bir sonraki kümes kapasitesine bakılır. Bu işlem civciv sayısı kümes kapasitesinden büyük olana kadar devam eder. Civciv sayısı kümes kapasitesinden büyük olduğu zaman civcivler, kümes kapasitesinden küçük olan son kümese atanır. Ancak, bu işlem boş olan son kümese kadar bakıldığında civciv sayısının kümes kapasitesinden büyük olduğu bir durumla karşılaşılmazsa boş olan en küçük kapasiteli kümes ile civciv sayısı

karşılaştırılır. Eğer, civciv sayısı kümes kapasitesinin %50' sinden büyük ise civcivler kümese atanır. Eğer, %50' sinden küçük ise o civcivler hiçbir kümese atanmaz. Atanmayan civcivler talep açığı oluşturur.

Talep açığı olduğu zaman, karkas üretimi talebin altında kalır. Bu durumda extra maliyet oluşur. Talep açığını azaltmak için iki ayrı algoritma geliştirilmiştir. Bunlar, envanter ve ardısmarlama algoritmalarıdır.

Bu algoritmalar yazıldıktan sonra oyuncak bir veri üstünde Lingo'nun optimal çözümü ile sezgisel modeldeki çözüm karşılaştırılarak optimale yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum sayısal verilerle de desteklenmiştir.

5. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde, problemin doğruluğu kontrol edilerek gerekli iyileştirmeler yapılmıştır ve karar destek sistemi oluşturulmuştur.

5.1. Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

Bu bölümde, model Lingo programına yazılarak analiz edilmiştir. Bu analizlerin sonucu Excel'e aktarılarak Gantt Şeması oluşturulmuştur. Bu Gantt Şeması civcivlerin hangi çiftliğe, ne zaman atanacağını göstermektedir. Gantt Şeması'nın oluşturulmasında Excel ve Lingo arasındaki veri alışverişi etkilidir. Problemin çözümü Lingo'da uzun zaman aldığı için sezgisel model geliştirilmiştir. Lingo'nun optimal sonucu ve oluşturulan sezgisel modelin sonucunu karşılaştırmak amacıyla talepler rastgele belirlenmiştir. Belirlenen bu taleplere göre her iki model için maliyetler elde edilmiştir ve yakınlıkları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayı aşağıda 'Tablo 1' de görebilirsiniz.

Tablo 1. VBA ve İyileştirilmiş VBA Oranları

VBA (%)	22	12	21	13	24	17	21	27	20	11	33	13	22	20	18
İVBA (%)	18	11	18	12	20	12	17	22	16	10	31	12	20	15	14

Yukarıdaki ‘Tablo 1’ sezgisel modelin Lingo’nun optimal sonucundan yaklaşık olarak ne kadar uzak olduğunu göstermektedir. Bu tablo, rastgele aralıklar belirlenerek beşerli gruplar halinde toplam 90 tane deneme yapılarak ve ortalamaları alınarak oluşturulmuştur. Bu analizler sonucunda, Lingo’nun optimal sonucuna yaklaşık %18 oranında uzak olduğu görülmüştür.

Ayrıca, Çamlı Yem’in ve oluşturulan sezgisel modelin atamaları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, Çamlı Yem’in 2014 yılındaki verileri ile yapılmıştır. Bu karşılaştırmada, talep fazlalığı, üretim fazlalığı, envanter ve ardısmarlama karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda, problemin çözümünde kullanılan yöntemin, Çamlı Yem’in maliyetini 92.000 TL azalttığı gözlemlenmiştir.

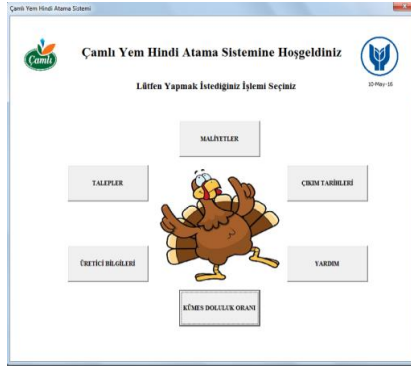
Envanter ve ardısmarlama maliyetleri iki katına çıkarılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda, optimale olan uzaklık yaklaşık %15’ den, %17’e çıkmıştır.

5.2. Karşılaştırma ve uygulama: İyileştirmeler ve KDS

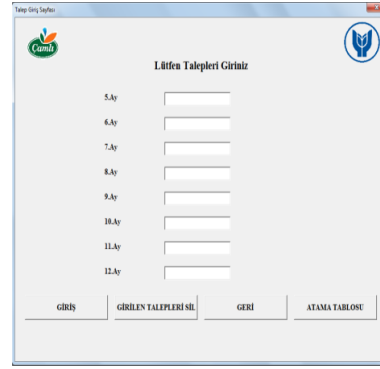
Yukarıda yapılan karşılaştırmalar sonucu, sezgisel modelin çözümünü, optimale daha fazla yaklaştırabilmek için iyileştirmeler yapılmıştır. Sezgisel modelde yapılan iyileştirmeler sonucu, elde edilen sonucun Lingo’nun optimal sonucuna yaklaşık %15 oranında uzak olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan iyileştirmeler sonucu, Çamlı Yem’in maliyeti 262.000 TL azalmıştır.

Bu incelemeler sonucu, Çamlı Yem’in atamaları sistematik olarak yapılabilmesi amacıyla bir karar destek sistemi (KDS) oluşturulmuştur. Bu karar destek sistemini açınca ‘Şekil 2’de görüldüğü üzere’ ilk olarak işlem sayfası açılmaktadır. Bu sayfada yapılmak istenen işlem seçilmektedir. Örneğin; talep girişi yapılmak isteniyorsa talep girişine tıklanıldığında taleplerin girilmesi için ‘Şekil 3’de verilen sayfa açılmaktadır. Bu sayfaya talepler girildikten sonra giriş butonuna

basılarak atama gerçekleşir. Daha sonra aynı sayfadaki atama tablosu butonuna tıklanarak atama sonuçları ve oluşan Gantt Şeması görülür. Gantt Şeması 109 kümes ve 52 hafta üzerine oluşturulmuştur. Atama sonuçlarının olduğu sayfadaki geri butonuna basılarak işlem sayfasına geri dönülür. Bu sayfadaki diğer işlemler içinde aynı çalışma prensibi geçerlidir.



Şekil 2. İşlem Sayfası



Şekil 3. Talep Giriş Sayfası

6. Sonuç ve Öneriler

Bu projedeki problemi çözmek için, yapılan çalışmalar ve incelemeler sonucu bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Bu oluşturulan karar destek sistemi ile civcivlerin hangi kümese, ne zaman; ne kadar atanacağı ve ne zaman kesileceği belirlenmiştir. Böylece, Çamlı Yem'in sistematik olarak civcivleri atayamama problemi ortadan kaldırılmıştır ve maliyet azaltılmıştır. Oluşturulan bu karar destek sistemi, bu tarz üretim yapan firmalarda da kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Glass, C. & Kellerer, H. (2004). Parallel Machine Scheduling with Job Assignment Restrictions.

Hopper, E. and Turton, B. (2009). Application of Genetic Algorithms to Packing Problems.

- Lodi, A., Martello, S. & Vigo, D. (30 May 2014). Heuristic and Metaheuristic Approaches for a Class of Two-Dimensional Bin Packing Problems.
- Munkres, J. (1997). Algorithms for The Assignment and Transportation problems.
- Robinson, E. P. & Gao, L. (2008). Master Production Scheduling Policy and Rolling Schedules in a Two-Stage Make-to-Order Supply Chain.
- Vargas, V. & Metters, R. (2011). A Master Production Scheduling Procedure for Stochastic Demand and Rolling Planning Horizons.
- Shmoys, D. & Tardos, E. (14 January 1993). An Approximation Algorithm for The Generalized Assignment Problem.
- Shmoys, D., Wein, J. & Williamson, D. (1995). Scheduling Parallel Machines ON-Line.
- Shmoys, D., Tardos, E. & Ardal, K. (1997). Approximation Algorithms for Facility Location Problems.
- Snyder, L. (2006). Facility Location Under Uncertainty: A Review, IIE Transactions, 38:7, 547-564.

Oto Tamir Boya Sektörü Üretim Planlaması

DYO Boya Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Emir Arif Çadircı

Arda Şen

Çağatay Gökçe

Onur Zıraman

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanları

Bilgehan Bostan, Üretim Planlama Müdürü

M.Akif Yılmaz, Üretim Planlama Şefi

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Deniz Özdemir, Özge Büyükdağlı

ÖZET

Bu projede, boya üreten bir şirketin, oto tamir boyası sektörü için haftalık üretim planlaması ele alınmıştır. Sistemi incelediğimizde başlıca gözlemlediğimiz problemler, üretim hattındaki ürünler için kullanılan kazanların düşük verimlikle kullanılması ve gerçeği tam olarak yansıtmayan standart zamanlarla üretim planı yapılmasıdır. Bu problemin çözümü için Excel arayüzlü ve simülasyon alt tabanlı karar destek sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan karar destek sistemi şirketten alınan gerçek haftalık veriler ile test edilmiş ve alınan sonuçların geçerliliği ve doğruluğu şirket tarafından onaylanmıştır. Bu proje sayesinde tasarlanan karar destek sistemi, şirkete haftalık yapılacak üretim planlaması için bir öngörü sağlayarak yardım etmiş olacaktır.

Anahtar Sözcükler: Üretim Planlaması, Simülasyon, Karar Destek Sistemi.

1. Genel Sistem Analizi

Dyo Boya Çiğli Fabrikası; dekoratif, mobilya, sanayi, oto tamir ve deniz boyları olmak üzere 5 farklı sektörde üretim yapan, 400'e yakın konusunda uzman çalışanı ve tüm Türkiye'de bulunan geniş bayi ağı ile hizmet veren Türkiye'nin büyük sanayi kuruluşlarından biridir. Pazar payına bakacak olursak Türk Boya sektöründe ortalama toplam üretim 520 bin tondur. Pazar büyüklüğü yaklaşık 1.2 Milyar Dolardır. Türkiye'de toplam boya üretim kapasitesi 800 bin tondur. Ortalama kapasite kullanım oranı %65 seviyesindedir. Dünya'da boya sektörünün 2015 yılında 90 Milyar dolarlık pazar büyüklüğüne ulaştığı Türkiye'nin payının yaklaşık %2 olduğu tahmin edilmektedir. Oto tamir sektörü araba tamir endüstrisinde kullanılan boyalardır. Ortalama Pazar payı %25 civarındadır ve nispeten ekonomik bu ürün grubuna talep artarak devam etmektedir.

2. Problemin Belirlenmesi

Problemimizi belirlemede yardımcı olacak analizler ve bu analizler sonucu elde edilen gözlemler alt başlıklarda belirtilmiştir.

2.1 Mevcut sistem analizi

DYO Çiğli'de boyların üretim aşamaları tüm sektörlerde olduğu gibi, oto tamir boya sektöründe de üretim kazanı diye adlandırdığımız kazanlar aracılığıyla yapılmaktadır ve bu üretim aşamaları; ön karıştırma, ezme işlemi, şarj tamamlama ve dolun işlemi olarak dörde ayrılır. İlk aşama olan ön karıştırma işleminde ana bileşenler karıştırılıyor. Karıştırılmış ana bileşenlerin olduğu kazan bu aşamadan sonra ikinci işlem olan ezme işlemine gider, bu işlemden sonra ise ürünler ilk kalite kontrolüne aşamasına gider. Bu safhaya kadar beyaz olan ürünlerin kalite kontrol onayının ardından şarj tamamlama işleminde renklendirmeleri yapılır. Onay almayan ürünler ise tekrar ikinci işlem olan ezme işlemine geri döner. Şarj tamamlama işleminden sonra ikinci

kalite kontrol aşaması gelir, bu aşamada renklendirilmesi yapılmış olan ürünlerin uygunluklarına bakılır ve onaylanan ürünlerin üretimi tamamlandığı için dolun bölümüne aktarılırlar. İkinci kalite işleminde onay alamayan ürünler ise, tekrar şarj tamamlama işlemine tabi tutulur ve oradan dolun işlemine ürün gönderilir. Dyo Çiğli'deki Oto Tamir Boya İşletmesi'nde, Şubat 2015 öncesine kadar oto tamir bovalarına ait standart zamanlar belirlenemiyordu ve işletmedeki kapasite ataması ise tecrübesel olarak oluşturuluyordu. Dyo Oto Tamir Boya İşletmesi'nde, gelen taleplere göre üretime sokulacak kazan sayısı tam olarak belirlenemiyor, üretim yaparken kaç adet kazanın sistemde darboğaz yaratacağı veya kaç adet kazanın altında üretim yapılırsa sistemin verimsiz kullanılmış olacağına dair öngörüler yoktu.

Şu an ise üretim sipariş bilgi sistemi ile siparişi veren firmaya tanınan teslim süresi ve toleranslar ile ilgili bilgiler içeren teminatlar veriliyor ve geçmişteki üretim zamanlarına bakılıyor. Planlama Departmanı bu teminatları verirken ürün bazlı ortalamalara bakarak ve bu rakamlara olası gecikmeler için hata payını da ekleyerek üretim kartlarına basılan standart zamanları belirliyor.

2.2 Sistemde gözlenen semptomlar

Mevcut sistem, geçmiş yıllara ait verilerin incelenmesi, üretim alanında yapılan gözlemler, planlama ve kalite kontrol departman yetkilileri ile görüşmeler sonucunda incelenmiş bazı semptomlar tespit edilmiştir.

Darboğaz Oluşumu:

Oto tamir bovalarının üretim süreci, diğer sektörlerde ait bovalarinkine göre daha uzundur. Bunun sebeplerinden birisi ise, kalite kontrol sürelerinin daha uzun olmasıdır. Kalite kontrol süreçleri ortalama olarak 1 ila 5 gün arası sürerken, zaman zaman 25 günün üzerine bile çıktığı gözlenebiliyor. Böyle durumlarda, hem Kalite Kontrol

Departmanı'na gönderilen numune, o departmanı engellerken hem de üretimde, o istasyonun önünde bekleyen kazanların üretimini engellemiş oluyor. Böylece, üretim yapıldığı zaman, atanan kazan sayısı belli bir sayıyı geçtikten sonra, zaman içerisinde Kalite Kontrol Departmanı'nın önünde kazan birikiyor ve üretim hattında üretim aksaması meydana geliyor ve böylece darboğazlar oluşuyor.

Düşük verimli Kazan Kullanımı:

Dyo oto tamir boyaalarının üretimini çoğunu kazanlar ile yapıyor. Kazanlar da kendi kapasitelerine göre 4'e ayrılıyorlar: Fındık, 2'lik, 4'lük ve Devir. En çok üretimin olduğu kazan tipi ise 4'lüktür. Şubat 2015'ten Kasım 2015'e kadarki üretim verilerini incelediğimiz zaman, 4'lük kazanlardaki verimlilik oranının %64 olduğu gözledik. Dyo'nun üretim hattını daha verimli bir şekilde kullanabilmek için kaç kazan kullanabileceğini belirlemesi gerekiyor.

Gerçeği Yansıtmayan Standart Zamanlar:

Dyo'da oto tamir işletmesinde üretilen oto tamir boyaalarına ait kalite kontrol süreçlerinin değişken olması sebebiyle, Planlama Departmanı gelen taleplerin üretimine başlamadan önce üretim kartlarında yazan standart zamanları geçmiş üretimlerine de bakarak üretilen ürünlerin sürelerini belirliyor. Basılan üretim kartlarının üzerinde o ürüne ait oluşturulmuş etiket ve üretim işlemlerinin zamanlarına ait bilgileri görebiliyoruz. Fakat üretim işlem zamanları oluşturulurken, Dyo o ürüne ait 10 aylık verilere bakarak gerçekleşmiş sürelerinin ortalamasını alıyor. Dyo, alınan bu ortalama değeri, ileride sıkıntı yaşamamak adına o süreyi genişletiyor. Bu yüzden, Planlama Departmanı'nın oluşturduğu üretim kartlarında yazan standart zamanlarla, üretim hattında gerçekleşen zamanlar arasında büyük farklılıklar oluyor.

2.3 Problemin Tanımı

Yukarıda belirtilen semptomlardanda görüldüğü üzere, üretim planlaması esnasında şirketimizde darboğaz oluşumu, düşük verimli kazan kullanımı ve gerçeği tam olarak yansıtmayan standart zamana göre planlama yapma gibi üretimin planını aksatabilecek veya üretimi verimsiz gerçekleştirilmesine yol açabilecek olaylarla karşılaştık. Bu tip risk faktörü taşıyabilecek hususlarda tecrübeler dayalı kararlar vermekten bir adım öteye gidebilmek, sistemin kilitlemesi veya verimsiz çalışması durumlarını üretim başlamadan simüle ederek önceden denemeler yapabileceğimiz ve sonuçlar çıkartabileceğimiz bir platform oluşturulması bizim problemimizin tanımını ve amacını oluşturuyor.

2.4 Teknik Yazın Taraması

Teknik yazın taranması yapılırken, projemizle ilgili olan Constant Work-In Process(CONWIP), Kapalı Kuyruk Ağı Sistemi, Açık Kuyruk Ağı Sistemi ve Seri Kuyruk Sistemi incelendi.

Problemimizi yukarıda ifade edilen sistemler ışığında inceleme fırsatı bulduk. Sistemimizde herhangi bir döngü olmasaydı ve kazanlarımız sisteme girip hiçbir geri dönüş yaşamadan sistemden çıksaydı, sistemimiz “Seri Kuyruk Sistemi” olarak modellenebilirdi. Eğer sistemde kullanılan kazan sayısı sabit olsaydı, sistemimiz “Kapalı Kuyruk Ağı Sistemi” şeklinde modellenebilirdi. Sistemimize kazan girişi ve çıkışı olduğundan mevcut sistemimiz “Açık Kuyruk Ağı Sistemine” benzemektedir.

Ancak, giriş zamanları “üssel” dağılım göstermediğinden ötürü “Jackson ağı” ile adlandırılan modelle modellenemeyeceğine karar verdik. Sistemin çalışma düzeni üzerinde veri denemeleri yapılması ve gerçeği yansıtmak adına sistemimizi “Simülasyon Programı” ile simüle ettik.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Sistemi daha iyi anlayabilmek adına, oto tamir boyalarına ait üretim simüle edildi. Bu simülasyon yani benzetim işlemi yapılır iken girdi olarak üretim listesi, üretim işlemlerine ait standart zamanlar, makine sayıları ve alan kapasite sayıları kullanıldı. Sonuç kısmında ise toplam üretimin bitiş zamanı, makinelerin kullanım oranları ve kuyrukta bekleyen ortalama kazan sayıları yazdırıldı. Bunun sonucunda sistemde ki belirsiz olan durumlar yapılan simülasyon sonucu belirlene hale getirildi.

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

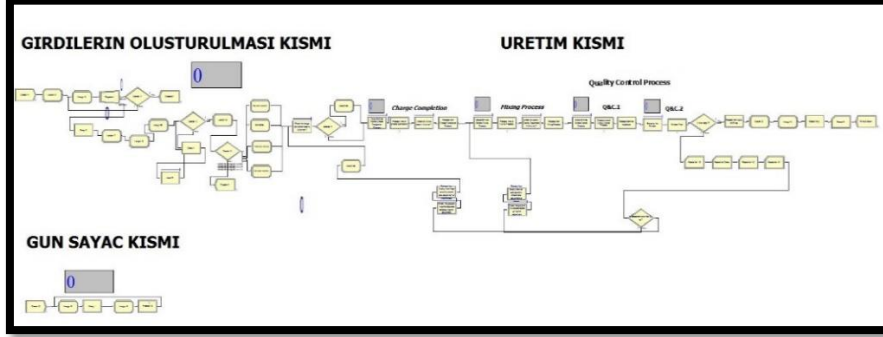
Sistemi analiz ederken, aşağıdaki kısıtlar ve varsayımlar altında çalışılmıştır:

- Sistemde yeterli miktarda kazan olduğu varsayılmaktadır.
- Sisteme girecek olan girdilerin çizelgelenmiş halde geldiği düşünülmektedir.
- Üretim işlemine giren ürünler, giriş sırasına göre servis alırlar.
- Makine bozulmalarının olmadığı varsayılmaktadır.
- İki vardiya çalışılır. Her biri 8 saatten toplamda 16 saattir.
- Sisteme giren ürünlerin pasta işlemlerinin önceden yapıldığı varsayılmaktadır. Böylece, ilk olarak şarj tamamlama işleminden başlanılır.

Üretim zamanları ürünlerin kilogram ağırlıklarına göre değişmemektedir.

3.2 Simulasyon modeli

Bu bölümde, kapasite ihtiyaç planlamasına bağlı olarak, toplam bitirme süresini en aza indirirken, toplam makine kullanım oranını arttırmayı ve darboğaz oluşumlarını engellemeyi amaçlayan çok amaçlı simulasyon modelimiz tanımlanmaktadır.



Şekil 1. Simülasyon modeli

Modelimiz genel olarak 3 kısımdan oluşmaktadır(Şekil 1). İlk olarak haftalık üretim listemizde yer alan girdileri sisteme tanımlayabilmek için gerekli olan “Girdileri Oluşturma Kısım”, ardından tanımladıktan sonra üretime girmesi için gerekli olan “Üretim Kısım” ve son olarak da, haftalık olan üretimi günlük yaptığı için ve hangi gün hangi girdilerin girmesi gerektiğini bilmesi için “Gün Savaş Kısım” bulunmaktadır. Odağımız olan ürün grupları A, B, C ve Diğer dediğimiz diğer sektörlere ait olan ürün gruplarıdır. Çünkü oto tamir ünitesinde aynı zamanda diğer sektörlere ait boyalar da üretilmektedir.

Modelimizin ilk kısmında (Girdilerin oluşturulma kısmı), haftalık üretim listemizde bulunan girdilerimizi, hangi gün ve hangi sırada üretime sokulmaları gerekiyorsa o şekilde tanımlıyoruz. Modelimiz bu kısımda, üretime başlamadan önce haftalık olarak hangi ürünler hangi günlerde üretilmeleri gerekiyorsa, Karar Destek Sistemi’imizde yer alan listeye bakarak ve o gün hangi SKU’lar girmesi gerekiyorsa, ilk olarak sistemimize tanımlayıp girdilerimizi oluşturuyoruz. Sonrasında üretim başlama kısmına geçiliyor.

Modelimizin ikinci kısmında (Üretim Kısım), ilk kısımda sistemimize tanımlayıp oluşturduğumuz girdileri, başlangıç olarak şarj tamamlama sonrasında karıştırma ve kalite kontrol işlemlerine sırasıyla

sokarak üretimi gerçekleştiriyoruz. Bu işlemler öncelik sıralarına göre sıralanmıştır. Üretim tüm sektörlere ait boyalar için bu sırayla birbirini takip eder. Her bir üretim işlemine ait alan kapasitesi, bir önceki işlemde tanımlanmıştır. Gözlemlerimiz sonucu şarj tamamlama işleminde kantar dediğimiz 2 sunucu ve toplam alan kapasitesinin 10 olduğu, Karıştırma İşlemi'nde 15 makine ve alan kapasitesinin 30 olduğu, Kalite kontrol işlemi'nin ilk basamağında tek bir çalışanın olduğu ve bu çalışanın aynı anda 5 adet kazandan gelen numunelere bakabildiği gözlemlenmiştir. Kalite Kontrol'ün ikinci basamağı fırın işlemidir ve burada fırın makineleri mevcuttur. Kapasitelerinin sonsuz olduğu şirket tarafından belirtilmiştir. Üretim kısmında Kalite kontrol işleminin önemli bir yeri vardır. Çünkü buraya gelen ürünler bir kontrol sürecinden geçerler. Onay alanlar dolum işlemine giderek sistemimizi terkederler. Ancak, onay alamazlarsa ve ilave almaları gerektiği beyan edilirse, almaları gerekli ilavelerin kilogram ağırlıklarına bağlı olarak, sistemdeki şarj tamamlama veya karıştırma işlemlerine dönerek yeniden işlem görürler. Bu ise doğal olarak, sistemdeki toplam bitirme süresini uzatır.

Modelimizin son kısmında (Gün Sayaç Kısmı) sadece bir sayaç vardır. Bu sayaç her geçen günü saymaktadır. Buradaki mantık, o gün kaçınıcı gün ise listemize bakarak o gün girmesi gereken ürünleri sistemimize tanımlamaktadır.

Simulasyon modelinin doğruluğunu test etmek adına beş haftalık gerçek üretim örneği incelenmiştir. Örnekteki haftalık üretim miktarları 37 ila 78 arasında değişmektedir. Bu veri, modelimizde öncelikle DYO'nun kendi uyguladığı üretim politikasına göre simulasyon programı ile çalıştırılmıştır ve gerçekleşmiş olana yakın bir sonuç elde edilmiştir. Böylelikle simulasyon programının doğru çalıştığı gözlemlenmiştir. Bahsedilen üretim örneğinde, gerçekleşen üretimin 36 gün sürdüğü DYO'nun verdiği geçmiş veri dosyasından okunmuştur.

Aynı veri, DYO'nun üretime aldığı tarihlere göre simülasyon modelinde tanımlanıp çözüm alınmıştır. Bunun sonucunda, simülasyon modelinde bu üretimin 34 gün sürdüğünü gözlemlenmiştir.

Duyarlılık analizi olarak, modelde tanımlanan makine sayılarını, deterministik standart zamanları, onay alma olasılıkları %20 - %40 azı ve %20 - %40 fazlası olarak değiştirildiklerinde, sonuç olarak yazdırılan üretim bitiş zamanları, makine kullanımları ve kuyruklarda bekleyen ortalama kazan sayılarında mantıklı değişimler görülmektedir.

3.3 Karar destek sistemi

Çözüm yöntemi, VBA tekniğiyle kodlanan kullanıcı dostu bir karar destek sistemi içine yerleştirilmiştir. Üretmek istediklerimizi, ürün kodu ve termin zamanı olarak 'Şekil 2'de görülen Ürün kodu ve Termin zamanı kolonlarına yapıştırılır veya girilir. Bu liste oluşturduktan sonra, eğer ürün eklenmesi veya çıkarılması gerekli ise, "Listeyi Güncelle" butonuna basılarak liste güncellenir ve böylece girdi listesi oluşturulmuş olur.

Öncelik	Ürün Kodu	Günlük Öncelik	Termin Zamanı
1	A	1	25.1.2014
2	B	1	25.7.2015
3	C	1	10.9.2015
4	A	2	21.9.2015
5	B	2	21.9.2015
6	C	2	22.9.2015
7	A	2	22.9.2015
8	B	3	22.9.2015
9	C	3	22.9.2015
10	A	3	22.9.2015
11	B	3	26.9.2015
12	C	4	28.9.2015
13	A	4	28.9.2015
14	B	4	28.9.2015
15	C	4	28.9.2015
16	A	5	28.9.2015
17	B	5	28.9.2015
18	C	5	29.9.2015
19	A	5	29.9.2015

1) Üretmek istediğiniz listeyi 'Ürün Kodları' ve 'Termin Zamanları' şeklinde, gördüğünüz kolanlara yapıştırdınız veya 'Listeyi Güncelle' butonu ile kendiniz üretmek istediğiniz listeyi oluşturdunuz.

2) 'Ayarlar' butonunu ile sisteminizde değiştirmek istediklerinizi değiştirebilirsiniz.

3) 'Üretim' >> 'Hazırla' seçeneklerini kullandıktan sonra çalıştır butonuna basınız.

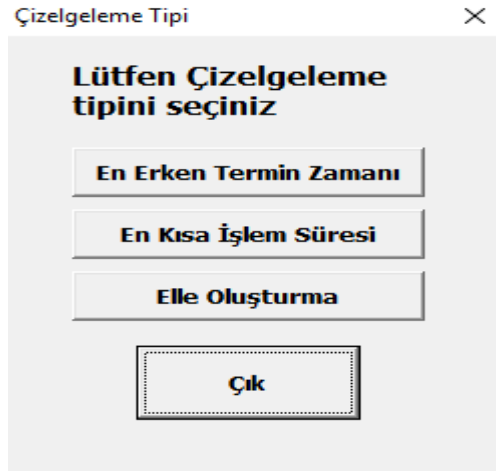



Üretim		Sonuçlar
Listeyi Güncelle	Ayarlar	Çizelgeleme Opsiyonları

Şekil 2. Karar destek sistemi anasayfa

Sonrasında, "Çizelgeleme Opsiyonları" butonuna basılarak, simülasyon modelinde tanımlanacak olan girdilerin, üretime başlamadan önce hangi sırada üretime girilmesi gerektiğine karar verilir (Şekil 3). Erken Bitiş Tarihli (EDD) ve İş Çizelgelemesi (SPT) bu seçenekler

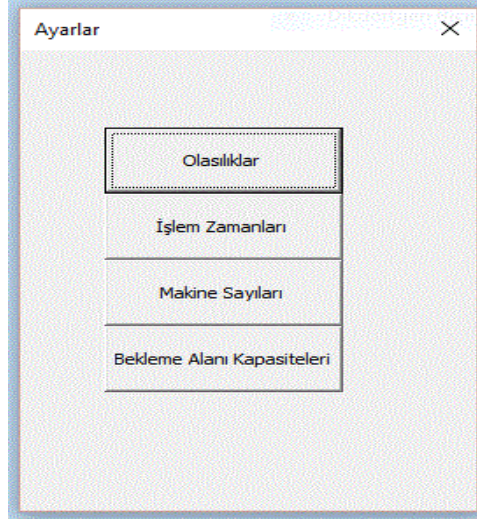
arasındadır. Aynı zamanda bu seçeneklerden bağımsız olarak manuel, yani kişinin isteğine bağlı, sıraya sokma seçeneği de sunulmuştur. Bunlardan herhangi biri seçildiği takdirde, Karar Destek Sistemi'nde bulunan girdi listesindeki girdiler, çizelgelenmiş şekilde sıralanır.



Şekil 3. Çizelgeleme Tipi

Ardından, “Ayarlar” butonuna basılarak (Şekil 4), simülasyon modelinde bulunan değişkenler, bu butondan değiştirilir. Buradaki değişkenler, her bir ürün grubuna ait Kalite Kontrol Departmanı’ndan onay alma olasılıkları, her bir üretim işleminde bulunan makine sayıları, her bir ürün grubunun hangi makinede ne kadar süre işlem görecekları ve o işlemlere ait alan kapasiteleri olmak üzere tanımlanmıştır. Onay alma olasılıkları, Kalite Kontrol Departmanı ile yapılmış olan çalışmalar sonucu, geçmiş veriler incelenerek ürün gruplarının ilave alma sayılarına göre hesaplanmıştır. Burada değiştirilen her bir değişken, otomatik olarak simülasyon modelinde de değişmiş olur. Ancak buradaki tek sıkıntı, makine sayıları her ne kadar değişken olsa da simülasyon modeli üzerinden “Resource – Fix Capacity” sekmesinden elle değiştirilmesi gereklidir. Burada, simülasyon modelinde hangi adresten hangi şekilde değiştirilmesi gerekiyorsa, yol gösterici olarak resimli anlatımlarda bulunulmuştur. Sonuç olarak simülasyon modeli, Karar Destek

Sistemi'nin bulunduğu Excel dosyasından ürün listesini, standart işlem zamanlarını, onay alma olasılıklarını ve üretim işlem alan kapasitelerini girdi olarak okuyarak, sisteme tanımlamaktadır.



Şekil 4. Ayarlar Kısmı

Artık liste tanımlanmış, sıraya sokulmuş ve parametreler oluşturulmuştur. Bundan sonraki aşamada “Üretim” butonuna basılır (Şekil.2). Basıldıktan sonra, Karar Destek Sistemi direkt olarak, içinde bulunan kodda yazan adrese giderek, simulasyon modelinin bulunduğu dosyayı bulur ve çalıştırır. Açılan simulasyon modeli hemen çalıştırılır ve sonuçlar Karar Destek Sistemi’nde bulunan “Sonuç Paneli” sayfasına yazdırılır.

Bu kısımda kullanıcı, simulasyon programında çalıştırıp aldığı sonuçları, toplam bitirme süresi (tamamlanma süresi), makine kullanım yüzdeleri ve ortalama bekleyen iş sayıları olarak görsel biçimde okuyabilir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Oluşturmuş olan Karar Destek Sistemi, sadece Oto tamir boyalarına ait üretimlerde değil aynı zamanda da diğer sektörlere ait boyaların üretiminde ve belirlediğimiz ürün gruplarının haricinde ki tüm

ürün grupları için de kullanılabilir. Çünkü üretim aşamaları tüm sektörler için aynıdır. Sonuç olarak, gerçek bir problem ele alınarak, ihtiyaç duyulan bir çözümlenme aracı ortaya konmuştur. Karar Destek Sistemi şirket çalışanlarıyla koordine edilerek onların istediği ve çalıştığı biçimde esnek bir yapıda hazırlanmıştır. Şirkette gerçekten kullanılmaya başlanacak bir hale getirilmiştir. Karar Destek Sistemi ile beraber şirket, tecrübelerine dayalı üretim planlaması yerine, üretimini simüle edip bu sonuçlar, öngörüler yardımıyla planlama yapma aşamasına geçmiştir. Karar Destek Sistemi bitiş zamanı sunmasının yanında makine kullanım oranları, ortalama makine önü kuyruklarını gösterme ve daha da önemlisi darboğazları göstermesiyle pek çok konuda şirketin Planlama Departmanı'na öngörü sağlamaktadır. Aynı zamanda, simulasyon modelinde tanımlanan makine sayıları, alan kapasiteleri vb. parametrik veriler değiştirilerek, denenecek farklı senaryolar üretim aşamasında yönetimsel kararlar almalarına yardımcı olacaktır.

Toplu Ulaşımında Kesikli-Olay Benzetimi Yaklaşımı ile Otobüs Hatları için Zaman Çizelgelemesi

İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü

Proje Ekibi

Gizem Sağım, Merve Varol, Serkan Elhan,
Fatma Talya Temizçeri, Tuna Sezgin

Endüstri Mühendisliği, Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Dr. Uğur Eliyi

Akademik Danışmanlar

Doç. Dr. Deniz Türsel Eliyi, Araş. Gör. Hande Öztop

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kaynak sınırlamalarını dikkate alarak Bornova Metro Aktarma Merkezi'nin her otobüs hattı için değişken yolcu talebini karşılayacak alternatif zaman çizelgeleri oluşturmaktır. Çalışmada, yolcu bekleme süresini düşürmek, otobüsün doluluk oranını dengelemek ve kaynak maliyetlerini azaltmak için kesikli olay benzetim temelli çözüm yaklaşımı geliştirilmiş ve olaylar yolcu gelişi, otobüsün terminale varış/ayrılışı ve otobüsün varış/ayrılışı olarak belirlenmiştir. Benzetim modeli geliştirildikten sonra çıktı analizine göre, farklı senaryo ve alternatif zaman çizelgeleri test edilerek, değişken yolcu talebini etkin şekilde karşılamak ve ESHOT'un zaman çizelgelerine karar verebilmesine yardımcı olmak için karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: zaman çizelgelemesi, kesikli-olay benzetimi, toplu taşıma, modelleme.

1. Genel Sistem Analizi

1943 yılında kurulan ESHOT Genel Müdürlüğü elektrik, su, havagazı, otobüs ve trolleybüs hizmetlerinden sorumlu olmanın yanı sıra mevcut durumda İzmir Büyükşehir Belediyesine bağlı olarak başta şehir merkezi ve çevresi olmak üzere, tüm il sınırları içerisindeki otobüsle toplu ulaşım hizmetini gerçekleştirmekte ve düzenlemektedir.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut Sistemin Analizi

ESHOT, otomatik veri toplama sistemiyle sefer başlangıç zamanlarını, otobüslerin duraklara varış-ayrılış zamanlarını ve durak bazlı otobüslere binen yolcu sayılarını görebilmekte ve bunun yanı sıra, iniş tahminleme algoritması ile durak ve hat bazlı inişler için tahmin yürütebilmektedir. Çalışılan hatlar için bu bilgiler ESHOT tarafından durak bazlı ham veri setleri halinde verilmiş olup, yapılan analizler sonucunda modele uygun girdiler haline getirilmiştir.

İzmir tekerlekli toplu ulaşım sisteminin bir parçası olan 22 hatta sahip Bornova Metro Aktarma Merkezi; hastanelere, üniversitelere ve sanayi bölgelerine olan yakınlık gibi çevresel faktörlerden dolayı çalışmanın yapılacağı bölge olarak seçilmiştir. Aktarma merkezinin işleyişini görmek ve elimizdeki verilerle gerçek hayattaki yolcu taleplerinin yoğun olduğu saatleri kıyaslamak için, çalışan araç tipi 70 yolcu kapasiteli solo otobüs olan 565 hattı pilot olarak seçilmiş bu hat üzerinde çalışmalara başlanmıştır.

2.2 Sistemde Gözlemlenen Semptomlar

ESHOT tarafından sağlanan ham verilerin incelenmesi sonucunda bazı bulgularla karşılaşmıştır. Örneğin 06:25 - 06:35 arasında beş dakikalık sıklık planlanırken, 06:25 - 06:40 olarak 15 dakikalık bir sıklık gerçekleşmiş olup, sefer sayısı planlanandan az olarak saptanmış, böylelikle gerçekleşen ve olması gereken ayrılış zamanları arasında

farklar oluşmuştur. Diğer bir bulgu, otobüslerin düşük doluluk oranı ile kullanımınıdır. Örneğin, sefer boyunca otobüsün kapasitesi 70 iken otobüsteki yolcuların sayısı 15 olup, kullanım oranı yaklaşık olarak %21 olarak meydana gelmiş olup, bu oran oldukça düşüktür. Üçüncü bulgu olarak, ESHOT'un bir dakika içerisinde bir sefer için iki otobüs başlattığı görülmektedir, bu bulgu sonucunda düşük kullanım oranı ve yüksek kaynak maliyeti meydana gelmiştir.

2.3 Problemin Tanımı

ESHOT, kaynak maliyetlerini minimum seviyede tutarak hizmet vermeyi hedeflerken, yolcular duraklarda en az süreyle beklemek ve konforlu yolculuk yapmak istemektedirler. Bu nedenle yolcu talepleri ve şirket beklentileri arasında uyumsuzluk meydana gelmektedir.

Şirket, toplu taşıma taleplerini karşılamak için sınırlı sayıda araca sahip olduğundan, araçlar doğru zamanda ve doğru sayıda atanmalıdır. Bu sebeple, bu proje gerçek hayat kısıtlamalarını ve kısıtlı otobüs kaynağını gözetenek, mevcut hatlardaki müşteri talebini en iyi şekilde karşılayan zaman çizelgelerini oluşturmayı ve bu çizelgeleri oluşturabilecek yapıyı bir karar destek sistemi bünyesinde toplamayı amaçlamıştır.

Sabit hatlar ve durakları, araç tipleri ve kapasiteleri, otobüslerin ilk ve son sefer saatleri, yolcuların geliş oranları, binen/inen yolcu sayısı ve ardışık duraklar arasındaki seyahat süreleri projesi yapılan bu problemin girdileridir. Performans ölçütleri ise yolcuların bekleme sürelerinin ve araç/şoför maliyetleri gibi kaynak maliyetlerinin azaltılması, araçların doluluk oranlarının dengelenmesidir.

Gözlemler sırasında hareket memurları ve şoförlerle görüşmeler yapılarak, aktarma merkezindeki hareketlilik hakkında bilgiler edinilmiştir. ESHOT tarafından verilen üç haftalık veri içerisinde hafta içi günlerine ait yaklaşık 85 bin kayıt analiz edilerek girdi analizi

yapılmıştır. ESHOT ile yapılan görüşmeler sonucunda hafta içinin bir günü yedi zaman aralığına bölünmüştür. Bu zaman aralıklarına göre durak bazlı olarak yolcu geliş oranları, yolcu iniş olasılıkları ve duraklar arası seyahat sürelerinin dağılımları bulunmuş ve zaman aralıklarından bağımsız olarak yolcular için ortalama biniş/iniş süresi hesaplanmıştır.

2.4 Teknik Yazın Taraması

Literatürde toplu ulaşım sistemleri hakkındaki çalışmalar sistemin analizi, performans geliştirme ya da en iyileme gibi inceleme alanlarına göre birbirinden ayrılmaktadır.

Öztürk'ün (2012) hazırladığı tezinde, ARENA™ benzetim yazılımını kullanmış ve kesikli-olay benzetim yaklaşımı ile İzmir Metro Ulaşım Sistemi'nin büyük ölçekli benzetim modelini hazırlamıştır. Bu çalışmanın amacı, bir analiz yaparak metro hattı operasyonlarının etkinliğini değerlendirmek olup, enerji maliyeti, yolcuların bekleme süreleri ve yolcuların konforu çalışmanın performans ölçütleri olmuştur. Yapmış olduğumuz projede de aynı performans ölçütleri ve metotları göz önüne alınmıştır. Örneğin, maliyeti ve bekleme sürelerini azaltacak ve yolcu konforunu arttıracak alternatif zaman çizelgeleri hazırlayabilmek için ARENA™ yazılımı kullanılarak üç olaydan oluşan bir benzetim modeli kurulmuştur.

Alvarez ve Hadi (2013) güvenilirlik metrikleri ile ilgilenerak sefer süreleri içindeki varyasyonları ve bu varyasyonlar için güvenilirlik metriklerinin hassasiyetini incelemişlerdir. İncelemelerinin sonucunda, seyahat süreleri dağılımlarının parametrelerinin; trafik sıklığı, arazi yapısı gibi faktörlere göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. Alvarez ve Hadi'nin çalışmasında olduğu gibi projemizde de aynı stratejiler izlenmiş ve sefer sürelerinin zaman aralıklarına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenerek, parametreleri hesaplanmıştır.

Pekel ve Kara'nın (2015) hazırladığı Simülasyon Bazlı Hızlı Transit Sistemler çalışması kapsamında, ARENA™ yazılımı kullanılmış ve sistem farklı senaryolar ile analiz edilmiştir. Yolcu geliş süreleri ve otobüslerin kapasitesi, modeli çalıştırmak ve analizi yapabilmek için gerekli olan verilerdir. Bu verilerin istatistiksel dağılımlarını belirleyerek en uygun çizelge ile İstanbul Metrobüs hizmetinde yolcular için ihtiyaç duyulan kapasiteye ulaşmak amaçlanmıştır. Pekel ve Kara'nın çalışmasında olduğu gibi projemizde de alternatif senaryolar üretilmiştir.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Birçok değişkene sahip karışık sistemleri modellemek için benzetim yöntemi kullanılır. Bir benzetim aracı olan ARENA™, dinamik süreçleri modellemek için akış şeması yöntemi kullanmaktadır.

Bu yüzden doğrulama, geçерleme ve hata ayıklama diğer simülasyon araçlarına kıyasla ARENA™ programında daha kolaydır.

Çalışmada, Bornova Metro Aktarma Merkezinin ulaşım sistemi modeli kesikli-olay benzetim yaklaşımı ile ARENA™ programı kullanılarak oluşturulmuş ve benzetim modeli yolcu gelişi, otobüsün terminale varış/ayrılışı ve otobüsün duraklara varış/ayrılışı aşamalarından oluşmaktadır. Benzetim modelinde kullanılacak olan dağılımların parametreleri belirlenen zaman aralıklarına bağlı olarak hesaplanmıştır.

3.1 Kısıtlar ve Varsayımlar

Bornova Metro Aktarma Merkezi'nin sınırlı sayıda aracı olup takviye aracı bulunmamaktadır. Sistem gerçek hayatta 06:00'da başlarken, simülasyon saati 05:54'te başlamaktadır. Bu altı dakikalık farkla ilk sefer için yolcu gelişleri yaratılmaktadır. Simülasyon modelinde hatlar birbirinden bağımsız olarak ele alınmıştır. Her hat kendi otobüs sayısına ve yolcu geliş oranlarına sahiptir. Hatlar arasında aktarma

bulunmamakta olup aynı tip otobüsler özdeş kabul edilerek ilk ve son duraklarda kuyruğa sokulmuşlardır. Sefer vakti geldiğinde kuyrukta en önde bekleyen otobüs sisteme girerken, sistemde gecikme var ise otobüsler kuyruğa girmeden sefere başlamaktadır.

3.2 Benzetim Modeli

- Yolcu Gelişi:

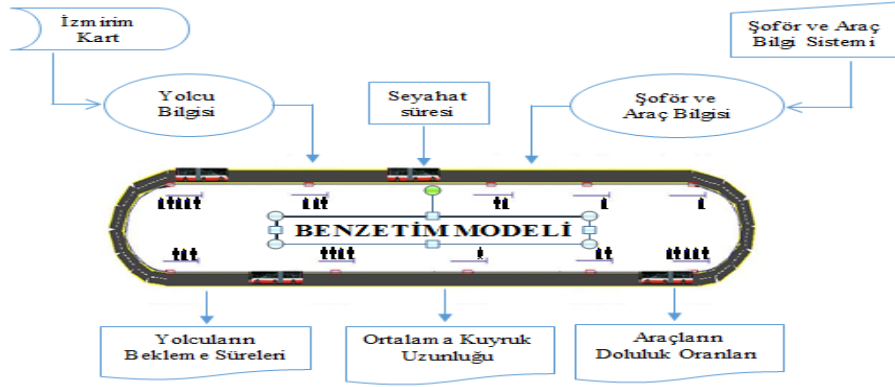
Kelton vd. (1998) belirttiği gibi yolcu gelişleri için üssel dağılım parametresi olan λ değerleri zaman aralığı ve durak bazlı olarak bulunmuştur. Yolcunun herhangi bir zaman aralığında durağa gelmesiyle yolcu kuyruğu bir kişi arttırılır. Üssel dağılım ile varışlar arası süreler oluşturulur ve geçerli benzetim zamanına bu süre eklenerek bir sonraki yolcunun geliş süresi bulunur. Ayrıca iniş olasılıkları dikkate alınarak yolcuların inecekleri istasyonlar yolculara atanır.

- Otobüsün Terminale Varışı ve Terminalden Ayrılışı:

Bir otobüs herhangi bir zaman aralığında terminale geldiğinde, öncelikle geciken sefer olup olmadığı kontrol edilir. Gecikme yoksa otobüs kuyruğa girerek sefer saatini bekler ve sefer zamanı geldiğinde otobüs kuyruğu bir azaltılır. Gecikme varsa otobüs beklemeden sefere başlatılarak terminalde yolcu olup olmadığı kontrol edilir. Eğer yolcu kuyruğu sıfırdan büyükse binme olayı gerçekleşir. Binecek yolcu kalmadığında ya da otobüsün kapasitesi dolduğunda otobüs bir sonraki durağa hareket eder. Otobüsün hareket zamanı, binen/inen kişiler için hesaplanan biniş/iniş süresinin benzetim zamanına eklenmesiyle bulunur ve üzerine diğer durağa gidiş süresi eklenerek sonraki durağa varış zamanı hesaplanır.

- Otobüsün Durağa Varışı ve Duraktan Ayrılışı:

Otobüs durağa geldiğinde öncelikle inme olayı gerçekleşir. Yolcular indikten sonra durakta bekleyen yolcu kuyruğunun sıfırdan büyük olup olmadığı kontrol edilir ve buna göre binme olayı meydana gelir. İniş ve binişler tamamlandıktan sonra otobüs bir sonraki durağa hareket eder ve otobüsün durakta geçirdiği süre binen/inen sayısına bağlı olarak bulunur. Otobüsün hareket ve sonraki durağa varış zamanı bir önceki işlemlerle aynı şekilde hesaplanır.



Şekil 1. Benzetim modeli temel yapısı.

3.2.1 Çözüm Yöntemi

Modelin 19 saatlik günlük çalışma zamanı aralığında çalıştırılması sonucunda yolcuların bekleme süreleri, otobüse binen/inen yolcu sayıları, ortalama kuyruk uzunluğu ve otobüsteki ortalama yolcu sayısı gibi çıktılar elde edilmiştir. Zaman aralıklarına bağlı olarak sefer sıklıklarının değiştirilmesi ve otobüs tipinin/sayısının değiştirilmesi kararlarını içeren iki farklı senaryo tipi bulunmaktadır. Model bağımsız yinelemeler yöntemiyle çalıştırılmış ve performans ölçütleri dikkate alınarak en iyiye yakın zaman çizelgeleri oluşturulmuştur.

4. Sayısal Sonuçlar

Kelton vd.(1998) belirttiği gibi başlangıç yineleme sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Yolcuların bekleme süreleri ve araç doluluk oranları her

yineleme için zaman aralığı bazlı elde edilmiştir. Bu sonuçların ortalamaları ve standart sapmaları alınarak her ölçüt ve zaman aralığı için yineleme sayıları hesaplanmıştır. Bu yineleme sayıları değerlendirilerek yeterli yineleme sayısı bulunmuştur. Hesaplama yapılırken güven aralığı %95, tolerans seviyesi %10 olarak belirlenmiştir. ‘Tablo 1’ ve ‘Tablo 2’de 10 replikasyon için bulunan güven aralıkları bulunmaktadır.

Tablo 1. Yolcu bekleme süreleri güven aralıkları.

Zaman Aralığı	Ortalama Yolcu Bekleme Süreleri			
	Gidiş (Evka4-Bornova)		Dönüş (Bornova-Evka4)	
	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır
06:00-06:50	2,70	7,41	1,20	5,93
06:50-09:00	1,54	6,31	0	4,42
09:00-13:00	2,58	7,34	1,01	5,66
13:00-16:00	2,84	7,70	1,35	6,12
16:00-20:00	1,84	6,65	1,96	7,06
20:00-00:00	3,10	7,87	10,08	16,54
00:00-01:00	4,16	9,11	4,26	9,98

Tablo 2. Araç doluluk oranları güven aralıkları.

Zaman Aralığı	Ortalama Araç Doluluk Oranları			
	Gidiş (Evka4-Bornova)		Dönüş (Bornova-Evka4)	
	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır
06:00-06:50	0,44	0,47	0,46	0,52
06:50-09:00	0,47	0,49	0,17	0,19
09:00-13:00	0,45	0,47	0,43	0,45
13:00-16:00	0,43	0,47	0,37	0,39
16:00-20:00	0,20	0,21	0,73	0,76
20:00-00:00	0,15	0,17	0,82	0,83
00:00-01:00	0,17	0,21	0,78	0,81

Sefer sıklığının ve otobüs tipinin değişmesinden oluşan iki farklı senaryo tipi bulunmaktadır. Bu senaryo tipleri dört farklı parametre içermektedir. *Parametre 1* en yoğun saatlerin belirlenmesi ve bu saatlerde sefer sıklığı süresinin bir ya da iki dakika düşürülmesi; *parametre 2* yoğun olmayan saatlerin belirlenmesi ve bu saatlerde sefer sıklığının süresinin bir ya da iki dakika arttırılması; *parametre 3* yoğun saatlerde takviye olarak bir ya da iki körüklü aracın sisteme sokulması ve

parametre 4 solo otobüs sayısının 10 ya da 11 olarak değiştirilmesi kararlarını içermektedir. Yapılan analizde bekleme süreleri ve araç doluluk oranlarına bakılarak dönüş yönünde 16:00-20:00 zaman aralığı ve 20:00-24:00 zaman aralığı en yoğun saatler olarak belirlenmiştir. Dönüş yönü 6:50-9:00, gidiş yönü 16:00-20:00 ve 20:00-24:00 zaman aralıkları yoğun olmayan saatler olarak belirlenmiştir. Uygulanan senaryolara göre alınan yolcu bekleme süreleri 'Tablo 3'de, araç doluluk oranları ise 'Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Senaryolara göre yolcu bekleme süreleri.

Parametreler		p1	1	1	1	1	1	2	2
		p2	1	1	2	2	2	1	2
		p3	1	2	1	2	2	2	2
		p4	1	2	2	1	2	2	1
06:00-06:50	Gidiş	AS	3,48	2,89	3,64	3,47	3,47	2,19	3,42
		ÜS	8,37	8,64	8,41	8,36	8,36	7,92	8,29
	Dönüş	AS	1,35	0,53	1,21	1,16	1,16	0,70	1,24
		ÜS	6,05	6,42	5,94	5,93	5,93	6,43	6,00
06:50-09:00	Gidiş	AS	4,28	4,05	10,92	11,53	11,53	1,03	11,30
		ÜS	9,12	9,98	17,03	17,94	17,94	6,81	17,74
	Dönüş	AS	0,00	0,00	0,16	0,04	0,02	0,00	0,17
		ÜS	4,46	5,13	4,82	4,73	4,74	4,92	4,92
09:00-13:00	Gidiş	AS	2,84	2,69	6,38	6,58	6,72	2,07	6,90
		ÜS	7,62	8,42	11,83	12,75	12,79	7,84	12,87
	Dönüş	AS	0,96	0,59	1,06	1,08	1,05	0,50	1,09
		ÜS	5,74	6,36	5,71	5,74	5,73	6,16	5,81
13:00-16:00	Gidiş	AS	3,32	3,07	3,18	3,70	3,34	2,33	3,65
		ÜS	9,03	9,77	8,06	8,80	8,48	8,21	8,83
	Dönüş	AS	1,40	0,96	1,45	1,56	1,46	0,84	1,60
		ÜS	6,16	6,71	6,18	6,48	6,31	6,62	6,55
16:00-20:00	Gidiş	AS	1,73	0,96	1,89	1,76	1,59	1,33	1,62
		ÜS	6,51	6,91	6,62	6,64	6,40	7,15	6,62
	Dönüş	AS	0,85	0,15	0,70	0,78	0,57	1,46	0,41
		ÜS	5,64	5,99	5,44	5,64	5,31	7,57	5,44
20:00-00:00	Gidiş	AS	4,10	3,14	3,31	2,99	3,11	2,58	4,14
		ÜS	8,84	8,93	8,23	8,31	8,19	8,37	8,90
	Dönüş	AS	5,11	4,20	3,27	3,90	3,49	9,58	10,35
		ÜS	10,90	10,46	8,43	9,36	8,60	17,05	20,99
00:00-01:00	Gidiş	AS	0,88	0,81	0,81	0,49	1,00	3,65	1,52
		ÜS	5,98	7,19	5,80	6,09	6,12	9,62	6,83
	Dönüş	AS	3,35	2,54	4,13	3,32	4,89	3,76	4,38
		ÜS	9,19	9,07	9,51	9,92	10,10	10,49	11,58
MALİYET	Gidiş	1.995,97 ₺	1.985,37 ₺	1.985,37 ₺	2.006,58 ₺	1.995,97 ₺	2.006,58 ₺	2.006,58 ₺	
	Dönüş	2.191,33 ₺	2.296,20 ₺	2.284,15 ₺	2.216,20 ₺	2.321,85 ₺	2.321,85 ₺	2.254,67 ₺	

Tablo 4. Senaryolara göre araç doluluk oranları.

Parametreler		p1	1	1	1	1	1	2	2	
		p2	1	1	2	2	2	1	2	
		p3	1	2	1	2	2	2	2	2
		p4	1	2	2	1	2	2	2	1
06:00-06:50	Gidiş	AS	0,45	0,46	0,44	0,46	0,46	0,46	0,48	
		ÜS	0,57	0,50	0,49	0,50	0,50	0,50	0,54	
	Dönüş	AS	0,54	0,57	0,55	0,54	0,54	0,45	0,44	
		ÜS	0,60	0,59	0,60	0,61	0,61	0,51	0,50	
06:50-09:00	Gidiş	AS	0,57	0,58	0,56	0,63	0,63	0,58	0,62	
		ÜS	0,63	0,60	0,64	0,65	0,65	0,60	0,64	
	Dönüş	AS	0,52	0,64	0,66	0,66	0,53	0,54	0,53	
		ÜS	0,73	0,67	0,69	0,70	0,72	0,56	0,58	
09:00-13:00	Gidiş	AS	0,42	0,46	0,44	0,49	0,49	0,46	0,48	
		ÜS	0,60	0,48	0,50	0,50	0,50	0,48	0,49	
	Dönüş	AS	0,43	0,71	0,69	0,69	0,68	0,57	0,55	
		ÜS	0,48	0,73	0,72	0,70	0,72	0,59	0,56	
13:00-16:00	Gidiş	AS	0,48	0,44	0,39	0,43	0,43	0,44	0,43	
		ÜS	0,66	0,45	0,43	0,45	0,45	0,44	0,44	
	Dönüş	AS	0,48	0,54	0,59	0,60	0,59	0,67	0,72	
		ÜS	0,66	0,56	0,60	0,63	0,61	0,69	0,74	
16:00-20:00	Gidiş	AS	0,10	0,17	0,16	0,17	0,17	0,15	0,15	
		ÜS	0,36	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	
	Dönüş	AS	0,57	0,64	0,62	0,62	0,62	0,66	0,71	
		ÜS	0,78	0,64	0,62	0,62	0,62	0,67	0,71	
20:00-00:00	Gidiş	AS	0,08	0,15	0,13	0,14	0,14	0,16	0,17	
		ÜS	0,42	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,21	
	Dönüş	AS	0,72	0,81	0,78	0,78	0,78	0,78	0,77	
		ÜS	1,00	0,81	0,78	0,78	0,78	0,78	0,77	
00:00-01:00	Gidiş	AS	0,00	0,11	0,06	0,06	0,05	0,07	0,17	
		ÜS	0,37	0,17	0,09	0,11	0,07	0,08	0,00	
	Dönüş	AS	0,71	0,76	0,81	0,81	0,81	0,81	0,84	
		ÜS	1,04	0,76	0,81	0,81	0,81	0,81	0,74	

4.1 Doğrulama, Geçerleme ve Duyarlılık Analizi

Modeli geliştirme sürecinde, her bir modül hata ayıklama aracı ile izlenmiştir. Yolcuların yaratıldıktan sonra zaman aralıklarına göre kuyruğa girişleri ve otobüslerin belirlenen sıklıklara göre sisteme gelişleri gözlenmiştir.

Doğrulama için izlenen otobüs ve yolcu etkileşimlerinin akışına göre otobüs durağa geldiğinde yolcular otobüse binerler. Bu iki farklı varlık birleşerek bir grup oluşturur ve sıradaki istasyona devam eder. Bir sonraki istasyonda incek yolcu varsa bu yolcular otobüsten ayrılarak sistemden çıkarılır ve durakta bekleyen yolcular varsa grupla birleşir. Modelin geçerliliğini göstermek amacıyla mevcut sistemde taşınan ortalama yolcu sayısı ile benzetim modelinde taşınan ortalama yolcu

sayısı, yolcu yoğunluğu en fazla olan duraklar baz alınarak 'Tablo 5'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5. Durak bazlı yolcu gelişleri karşılaştırması.

Durak İsmi	Benzetim Modeli Yolcu Ortalaması	Mevcut Sistem Yolcu Ortalaması
Bornova Metro	5390	5170
Suphi Koyuncu	280	294
Hükümet Konağı	1467	1355
Malazgirt İÖ	112	107

4.2 Karşılaştırma ve Uygulama

Karar Destek Sistemi kullanıcının mevcut senaryo tiplerine bağlı olarak farklı senaryolar üretmesine ve uygulamasına olanak vermektedir. Geliştirilen karar destek sistemi ile kullanıcıya hızlı, güvenilir ve etkin bir çizelgeleme aracı ortaya konulmuştur. Kullanıcı ara yüzü 'Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2. Karar destek sistemi arayüzü.

Kullanıcı öncelikle işlem yapılacak olan hattı seçerek zaman aralıklarına göre istenilen sefer sıklıklarını ve/veya kullanılacak araç tipine göre araç sayısını sisteme girer. Bu işlemlerden sonra kullanıcının girdiği parametrelere göre rapor elde edilir.

5. Sonuç ve Öneriler

Simulasyon modelinin çıktıları değerlendirilerek bu bölümde senaryolar tartışılmıştır. Pilot hat için alınan rapor sonucunda, dönüş yönü için 2. zaman aralığı (06:50-09:00) ve 4. zaman aralığında (13:00-16:00) araç doluluk oranları ve yolcu bekleme sürelerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu zaman aralıklarında sefer sıklıklarının azaltılması ile ilgili senaryolar denenerek araç doluluk oranlarının artırılması ve yolcu bekleme sürelerinin güven aralıkları içinde tutulması hedeflenmiştir. Ayrıca 6. zaman aralığında (20:00-24:00) yolcu bekleme sürelerinin ve araç doluluk oranlarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Durumu iyileştirmek için bu zaman aralığında sisteme takviye araç sokulması ve sefer sıklığının artırılması denenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre denenen yedi senaryodan “1,1,1,1” parametrelerine sahip olan senaryo performans kriterleri açısından en uygun senaryo olmuştur. Bu sonuçlar aktarma merkezindeki diğer hatlar için de alınacak ve senaryolar denenmiş olarak sunulacaktır. İleride hatların bağımsız olarak ele alınması yerine ortak kaynak kullanımı çalışılabilir ve bu sayede daha etkin kaynak planlaması yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Alvarez, P. ve Hadi, M. 2012. “Time-Variant Travel Time Distributions and Reliability Metrics and Their Utility in Reliability Assessments”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2315), 81-88.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., ve Sadowski, D. A. 1998. “Simulation with ARENA”, New York: WCB/McGraw-Hill.
- Öztürk, G. 2012. “Simulation & Analysis of İzmir Metro Transportation System”, Yüksek Lisans Bitirme Tezi, Yaşar Üniversitesi.
- Pekel, E., ve Kara, S. S. 2015. “A Simulation Based Scheduling in Bus Rapid Transit System”, Sigma: Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 33(1).

Çok Ölçütlü Hammadde ve Müşteri Sınıflandırmasına Dayalı Sipariş ve Stok Tayınlama Kontrolü

Kansai Altan Boya Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Güler Pınar Susup, Cem Talas
Berkin Ertuğrul, Özgecan Fidan

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanları

Efdal Gencer, Analiz, Burcu Dalgıç
Kontrol ve İç Lojistik Müdürlüğü

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Önder Bulut, Araş. Gör. Mert Paldrak

ÖZET

Bu projede, boya üreticisi olan Kansai Altan şirketinin hammadde envanter yönetim problemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı risk gruplarına göre hammadde sınıfları oluşturmak, bu sınıflara uygun envanter politikaları belirlemek ve ayrıca müşteri sınıflarını belirleyerek bu sınıfların tayınlama seviyelerini tanımlamaktır. Tayınlama, bir çeşit stok rezervasyon sistemi ile kritik öneme sahip olan müşteri sınıflarına daha yüksek servis seviyesi sağlayan bir envanter yönetim stratejisidir. Proje sonucunda hizmet seviyelerinde önemli bir iyileştirme ve elde tutma maliyetlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu iyileştirmeler, atıl hammadde miktarında azalma sağladığı için bu maddelerin imhasının çevreye vereceği zararlar da en aza indirgenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Envanter yönetimi, çok ölçütlü sınıflandırma, stok tayınlama.

1. Genel Sistem Analizi ve Problemin Belirlenmesi

Kansai Altan, otomotiv ve endüstriyel boyaların imalatı ve pazarlanması amacıyla %100 yerli sermaye ile 1982 yılında Kemipol adı altında kurulmuştur. 1990 yılında, Hollanda boya üreticisi Akzo ile yapılan şirket ortaklığı sayesinde firma ilk kez uluslararası hale gelmiştir. 2009 yılında, Akzo hisselerini Japon boya üreticisi olan Kansai Paint'e satmış ve şirketin yeni adı Kansai Altan olmuştur. İzmir Kemalpaşa'da 100 bin metrekare alana konuşlanan fabrikanın yıllık polimer üretim kapasitesi 18 bin ton, yıllık boya üretim kapasitesi 80 bin tondur. Ar-Ge merkezinin katkılarıyla 1054 farklı hammaddeyle üretilen 8000 ürün, 6 farklı iş biriminden yaklaşık 430 yurt içinden ve dışından müşteriye satılmaktadır.

Bu proje, Kansai Altan şirketinde mevcut olan hammadde envanter yönetim sistemini iyileştirmek ve bu sistemdeki deneyime dayalı prosesleri tamamen metodolojik bir biçime sokmak amacıyla yapılmıştır. Bunun için, şuanda kullanılan envanter yönetim sistemi ayrıntılarıyla analiz edilmiştir. Sanayi danışmanlarıyla yapılan toplantılarda problemin hatları belirlenmiş, yapılacak çalışmalar konusunda karara varılmıştır.

1.1 Mevcut Sistemin Analizi ve Gözlemlenen Semptomlar

Firmanın mevcut envanter yönetim sistemi bir takım bileşenler çerçevesinde incelenmiştir. İlk bileşen stok izleme sistemidir. Periyodik gözden geçirme sistemine dayalı sistemin periyodu 1 aydır. Bu uzun periyot içinde oluşabilecek problemlerin fark edilememesine yol açar ve talebin dinamikliği/değişkenliği tam olarak analiz edilemez. İkinci bileşen tedarik süresidir. Gerçek tedarik süresine ekstra zaman ekleyerek emniyet stokları tutulur. Bu durum, stoksuz kalma riski içerir ve fazla stok tutmaya neden olabilir. Şuanda şirketteki mevcut stoğun parasal değeriyle ilgili gizlilik gereği tam rakam veremesek de, oldukça yüksek

bir tutardır. Üçüncü bileşen olarak sipariş miktarı incelenmiştir. Sipariş miktarı nicel bütçeleme stratejisine dayanmaktadır. Yani, sipariş miktarını belirlemek için en iyi envanter yenileme politikası kullanılmamaktadır. Diğer bileşen ise müşteriler için herhangi bir sınıflandırma bulunmamasıdır. Fiili hizmet düzeyini hesaplamak için hiçbir bilimsel metodolojileri yoktur. Son bileşen ise hammadde sınıflandırma yöntemleridir. Aktif olarak ABC analizi kullanılmaktadır. Şirket, daha çok risk faktörünü göz önünde bulunduran bir sınıflandırma sistemi ihtiyacının farkındadır. Kansai Altan, hammadde sınıflandırması için hammaddelerin *işe etkisini* de göz önünde bulunduran alan bilimsel bir metodoloji istemektedir. *İşe etki* demek, bir hammaddenin yokluğunda satışın ne kadar engellendiği ya da geciktiği, kaç üretim hattının durduğu, kaç son ürünün etkilendiğidir.

1.2 Problemin Tanımı

Semptomlar ayrıntılı olarak incelendikten sonra, hammaddelere uygun stok politikası belirlemek için yürütülecek olan projenin üç adımlı prosedürden oluşması kararlaştırılmıştır. *İlk adım* hammaddeleri, birçok ölçütü bulunan ve bu şekilde daha fazla riski göz önünde bulunduran bir sınıflandırma yöntemiyle kategorilere ayırmaktır. Sınıflandırma sonucu aynı sınıfa düşen hammaddelere ortak bir gözden geçirme parametresi ve ailesel ortalama bir hizmet seviyesi atanmaktadır. *İkinci adımda*, müşteri sınıfları belirlenmektedir. Bu aşamada, elde edilen her bir müşteri sınıfı için sanayi danışmanlarının fikri alınarak hizmet düzeyi belirlenmiştir. Bu hizmet düzeyleri, tayınlama seviyelerinin belirlenmesinde kullanılacaktır. *Son adımda* ise önceki adımlarda elde edilen sonuçlar kullanılarak, her hammaddeye özgü envanter yenileme politikası ve tayınlama seviyelerini içeren bir envanter kontrol mekanizması önerilecektir. Problemi tek cümlede ifade edersek; hammadde sınıflarını

belirleyerek o sınıflara uygun envanter politikalarını saptamak ve tayinlama seviyeleri ile birlikte müşteri sınıflarını tanımlamak.

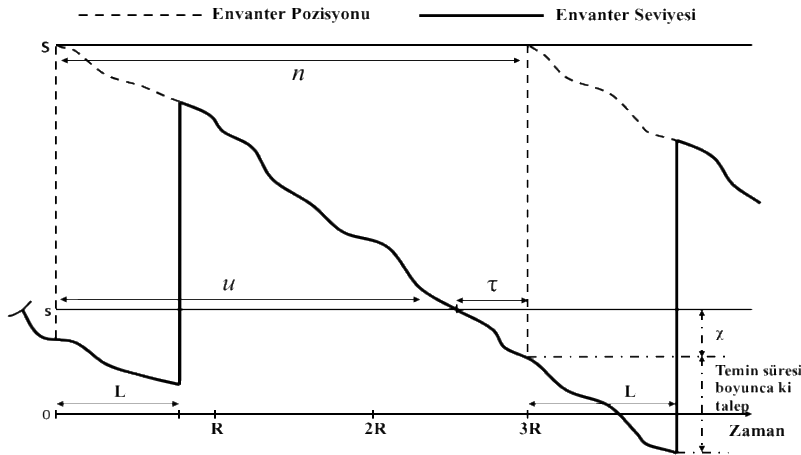
1.3 Teknik Yazın Taraması

Problemin tanımlanması ve modelleme yaklaşımı geliştirildikten sonra envanter yönetimde çok ölçütlü sınıflandırmalar ve stok tayinlaması hakkında yazın taraması yapılmıştır.

Çok ölçütlü sınıflandırma, sadece ABC analizinin kullanılmasının yıllık finansal değeri yüksek olup üretim veya servis açısından kritik olmayan ürünlere gereğinden fazla önem yüklenmesini engellemektedir. Bu yöntemlerden ilki analitik hiyerarşi prosesidir. AHP çok ölçütlü durumlarda rasyonel, adil ve tutarlı ölçü sağlar. (Saaty, 1987)

Bir başka çok ölçütlü sınıflandırma yöntemi ise istatistiksel yöntemdir. (Kafadar vd., 2014) Bu metot herhangi bir uzman görüşü alınmaksızın gerçek sayısal verilerle çalışma imkânı sunmaktadır.

Problemin, envanter yönetimi boyutu için sürekli ve periyodik envanter kontrol politikaları taranmıştır. (Silver vd., 1998) Kansai Altan'ın da doğasına uygun olduğunu düşündüğümüz (R,s,S) envanter politikası ayrıntılarıyla incelenmiştir. (Silver vd., 2009)



Şekil 1. Periyodik sistemdeki envanter pozisyon değişimi

Bu sistemin girdileri gözden geçirme süresi, sabit temin süresi, birim zamandaki talep bilgisi, ortalama ardaşık iki stok yenilenmesi arasında geçen süre(n) ve hizmet seviyesidir. Bu yaklaşımdaki anahtar nokta, sipariş verme noktasının ikmaller arasındaki herhangi bir zamanda ulaşılabilir olmasıdır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, envanter seviyesinin sipariş yenileme noktasına düşme süresi rassaldır. τ ise sipariş noktasına düştükten sonra, bir sonraki gözden geçirme süresine kadar geçen zamanı ifade etmektedir. Klasik sistemde, sipariş verme noktası, gözden geçirme periyodu ve temin süresi boyunca talebi korumaktadır. Fakat, τ ifadesi ile sipariş yenileme noktası τ ve temin süresi boyunca ki talebi korur. Yani, pratik olarak güven stoğu açısından daha doğru bilgi elde edilmektedir. Ayrıca burada tanımlı olan n , hammaddelerin satın alınma aşamasında ortaya çıkan zorluklardan kaynaklanan toplu alım isteği sebebiyle firmaların en uygun sipariş birleştirme miktarını belirlenmesine olanak tanımıştır.

Problemin stok tayınlama yönü ile ilgili yapılan yazın taramasında, farklı müşterilere farklı hizmet düzeyleri atanmasının işletme verimliliğini arttırabileceği görülmüştür. Eğer ki şirketler talep sınıfları oluşturup hizmet düzeylerini farklılaştırılmaz ise bazı talep sınıflarına gereğinden fazla hizmet düzeyi atanmasına yol açabilir. Bu durum şirketlerin gereksiz stok tutup, envanter tutma masraflarını arttırabilmektedir. Stok tayınlama, talep sınıflarını önceliklendirmeye yarayan bir envanter stratejisidir.(Fadıloğlu ve Bulut, 2005) Stok tayınlama çoklu talep sınıfları olan sistemlere önerilen bir stratejidir çünkü, her talep sınıfı için ayrı envanter tutmak risk havuzu oluşturmanın getirdiği faydalardan yararlanamaz ve sipariş maliyetini yükseltebilir. (Fadıloğlu ve Bulut, 2010)

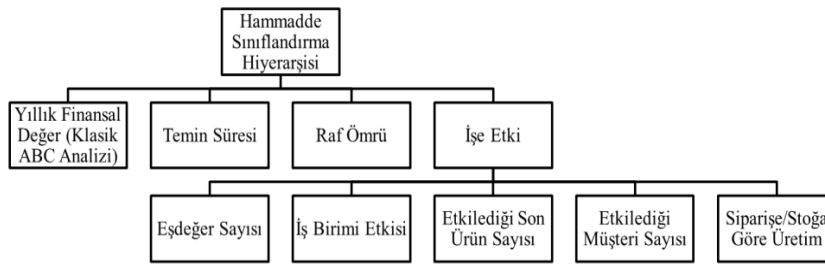
2. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Yapılan yazın taramaları sonucunda hammadde sınıflandırması için daha çok risk gözeten ve objektif bir metot olan istatistiksel metoda başvurulmuştur. Müşteri sınıflandırması için daha sübjektif olan ve ikili kıyaslama kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi uygun görülmüştür. Son adım olan envanter kontrol mekanizması olarak önerilecek $((R, s, S), \vec{K})$ politikası için Kansai Altan'ın da iş yapış doğasına uygun olarak bazı varsayımlar altında çalışmalar yapılmıştır. İkmallerin temin süresinin sabit olduğu, taleplerin birbirinden bağımsız ve durağan olduğu, ve ayrıca talep verilerinin gelişlerinin normal dağılıma göre olduğu varsayılmıştır. Son olarak ise oluşturulan sistem, yine firmanın doğasına uygun olarak tamamen ardışmarlamalı olarak davranmaktadır.

2.1 Çok Ölçütlü Hammadde Sınıflandırması

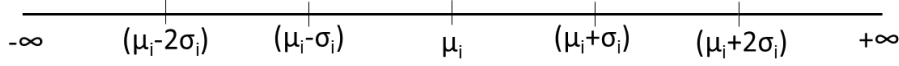
İlk adım hammaddeleri, birçok ölçütü bulunan ve bu şekilde daha fazla riski gözeten bir sınıflandırma yöntemiyle hammadde sınıflarına ayırmaktır ve yapılan yazın taramaları sonucunda bu sınıflandırma için bir istatistiksel metot geliştirilmiştir. Metodun ilk aşamasında hammaddeleri sınıflandırmak için gerekli ölçütler belirlenir ve hiyerarşi içine sokulur. Şirketle görüşülüp uygun ölçütler belirlenmiş ve aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 1. Hammadde Sınıflandırılması için Ölçütler ve Hiyerarşisi



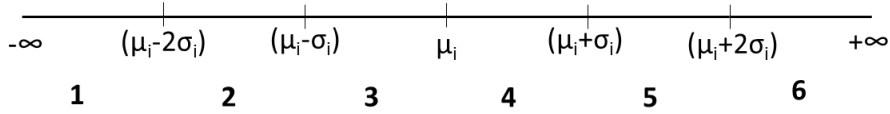
Uygun ölçütler belirlendikten sonra, her faktör için hammaddelerin ortalama değerleri ve standart sapmaları bulunur. Sonra, puan aralıkları

bütün faktörler için $(\mu_i - 2\sigma_i)$, $(\mu_i - \sigma_i)$, $(\mu_i + 2\sigma_i)$, $(\mu_i + \sigma_i)$ olarak hesaplanır. Böylece 1'den 6'ya verilecek puanların aralıkları hesaplanmış olur.



Şekil 2. Puanlama Tablosu

Faktör değeri ve puan durumu doğru orantılı ise her bir aralık 1'den 6'ya, ters orantılı ise 6'dan 1'e olmak üzere numaralandırılır.



Şekil 3. Faktör değerleri ile puanlamanın doğru orantılı olduğu durum

Bu yöntemle her faktör için puan hesabı yapıldıktan sonra, bu puanların ortalaması ve standart sapması ile bu yöntem tekrarlanır ve sınıflar belirlenir.

2.2 Çok Ölçütlü Müşteri Sınıflandırması

Problemin ikinci adımı olan müşteri sınıflandırması için analitik hiyerarşi prosesi seçilmiştir. Bu yöntemin seçilme sebebi AHP'nin ikili karşılaştırmalarla daha sübjektif olmasıdır. Proses 5 adım ile anlatılabilir. Yöntemin birinci adımında bütün kriterler belirlenip hiyerarşik sıraya dizilir. Müşteri sınıflandırması şu ölçütleri göz önünde bulunduracaktır; müşterinin prestiji, müşterinin yer aldığı sektörün şirket açısından önemi, müşterinin finansal hesap durumu (düzenli müşteri, sürekli olmayan müşteri ve gelecekte potansiyel müşteri). İkinci adımda ise kriterler için kendi içinde tutarlı karşılaştırma matrisi oluşturulur ve her kriter için ağırlık hesaplanır. Prosesin üçüncü adımında her bir kriterin ölçü birimi farklı olduğundan, ölçümler 0-1 aralığında bir puanlamaya dönüştürülmelidir. Dördüncü adımda her hammadde için ağırlıklı puanlar hesaplanır. Ve son adımda ise yukarıda bahsedilen istatistiksel yöntem çağrılıp sınıflandırma yapılır.

2.3 Envanter Kontrol Mekanizması

Problemimizin son aşaması olarak bir hammadde envanter kontrol mekanizması oluşturulacaktır. Bu mekanizmanın başlıca amaçları ise hammadde envanterini belirli bir gözden geçirme süresine karar vermek, sipariş yenileme noktasını ve maksimum envanter seviyesini saptamak ve her bir müşteri sınıfı için stok tayinlaması bulmaktır.

Yapılan yazın taramaları sonucunda, önerilecek envanter politikasının tamamen periyodik olarak gözden geçirmeye dayalı bir politika olmadığını öngördük. Stok tayinlaması farklı müşteri sınıflarından gelen taleplerin geliş sırasına bağlıdır ve bu sebeple envanter düzeyinin sürekli olarak gözden geçirilmesi maliyet ve hizmet seviyesi açısından bakıldığında daha sağlıklıdır. Fakat, envanter pozisyonunun anlık olarak takip edilip, aksiyon alınması, hem gözden geçirme maliyeti hem de firmanın ve tedarikçilerinin kendi planlamaları ve iş yapış doğası gereği periyodik olarak yapılması daha uygundur. Bütün bunlara dayanarak her hammadde için önereceğimiz envanter modeli $((R, s, S), \vec{K})$ olarak belirlenmiştir. Bu model, yeniden sipariş verme noktasını periyodik olarak kontrol edip, tayinlama kararları için sürekli gözden geçirmeli sistem gibi davranması yönüyle tipik envanter modellerinden ayrılır. Buradaki (R, s, S) envanter yenileme/kontrol politikasını ifade etmekte olup R gözden geçirme periyodunu, s sipariş noktasını, S maksimum envanter seviyesini ve $\vec{K} = (K_1, K_2, \dots, K_i)$ ile birlikte tayinlama stratejisini temsil etmektedir. K_i ise belirli müşteri için tayinlama düzeyini göstermektedir. Bu envanter modeli şu aşamalar ile oluşturulacaktır.

- (R, s, S)

Şekil 1 de gösterilen τ 'nın tanımlanmasıyla, ikmaller arasında hangi zamanda sipariş noktasına ulaşıldığı hesaplanabilmektedir. Yeniden sipariş noktası τ ve temin süresindeki, yani efektif temin süresindeki talebi korumaktadır. Şekil 1'de u ile ifade edilen rassal zaman, envanter pozisyonunun maksimum seviyeye ulaştığı zamandan, sipariş yenileme noktasına kadar geçen zamanı belirtmektedir. Formül 1'de m ile ifade edilen, beklenen u değeridir ve envanter modelinin ilk aşaması olan ($S-s$) in hesaplanmasında yardımcı olur.

$$m = \frac{S - s}{\mu} \quad (1)$$

($S-s$) hesaplanırken, literatürden alınan ve τ 'ya bağlı olasılık yoğunluk fonksiyonunun nümerik integrali ile n 'in formül 2'de belirtilen fiziksel tanımı kullanılmış ve yararlanılan literatürden farklı bir yöntem kullanılmış ve bilimsel katkı sağlanmıştır.

$$n = m + E[\tau] \quad (2)$$

Daha sonra, efektif temin süresi boyuncaki beklenen talep ve bu süre boyuncaki talebin standart sapması hesaplanır ve bu hesaplama yeniden sipariş verme noktasını belirlemede kullanılır. Son olarak, ($S-s$) değeri ve yeniden sipariş verme noktası(s) bilindiğine göre maksimum envanter seviyesi(S) kolayca hesaplanır.

- **K Vektörü**

Firmanın doğasında farklı müşteri sınıfları olduğu için politikaya farklı stok tayınlama düzeyi tanımlamak gerekmektedir. Envanter düzeyi her bir tayınlama düzeyi altına düştüğünde önceliği düşük olan müşteri grubuna, sistem servis vermeyi bırakır. Yukarıda verilen modelde u ile gösterilen zamanın dağılımını hesaplamak için gereken iki girdi değiştirilerek (başlangıç ve bitiş) farklı tayınlama düzeyleri ile birbirinden ayrılan farklı envanter bölgelerinde geçirdiğimiz zamanın dağılımını bulabilmekteyiz.

2.4 Kısıtlar

Maksimum envanter düzeyi, minimum tedarik miktarı kısıdını sağlayabilmek için yeniden düzenlenmiştir. Envanter pozisyonu gözden geçirildiğinde sipariş yenileme noktasının altında bir yerde de olabilir. Şekil 1’de “ X ” olarak tanımlanan değişken envanter pozisyonunun sipariş yenileme noktasından ne kadar uzakta olduğunu tutmaktadır. Eğer herhangi bir gözden geçirme noktasında, envanter pozisyonu sipariş yenileme noktasının altındaysa, bu değişken pozitif bir değer alır. Bu durum verilecek olan sipariş miktarını da etkileyecektir ve böylece bir sonraki periyot için verilecek olan sipariş miktarı ya maksimum tedarik miktarına eşit olacak ya da envanter pozisyonunu maksimum envanter düzeyine çıkaracak değer olacaktır. Diğer bir kısıt olan raf ömrü kısıdı ise, bir hammaddenin raf ömrü ve temin süresi arasındaki farkın stok ikmal süreleri arasındaki hedef ortalama gözden geçirme aralıkları sayısından büyük veya eşit olmasıyla sağlanmıştır.

3. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde yöntemin çıktılarından elde edilen sayısal sonuçlara bakılarak geliştirilmiş sistemin analizi yapılacaktır. Öncelikle aşağıda uygulanan çok ölçütlü hammadde sınıflandırması analizleri verilmiştir.

Tablo 2. Hammadde Sınıf Değişimi

Hammadde Kodu	Temin Süresi	Yıllık Finansal Değer	İş Etki	Raf Ömrü	Toplam Puan	Sınıf
43787	5	1	6	4,75	16,75	A

Yukarıda verilen 43787 kodlu hammadde klasik ABC sınıflandırmasında C sınıfına düşmektedir. Ancak yeni uyguladığımız istatistiksel metot sonucu A sınıfında olduğu görülmektedir. Yani hammaddenin finansal değeri düşük olsada işe etkisi büyük olduğu için sık sık kontrol edilmelidir.

Tablo 3. Hammadde Karşılaştırma Tablosu

Hammadde Kodu	Temin Süresi	Yıllık Finansal Değer	İşe Etki	Raf Ömrü	Toplam Puan	Sınıf
37565	3	2,66	6	2,25	13,91	B
37573	3	2,66	2	2,25	9,91	D

Yukarıda verilen tabloda “İşe Etki” faktörü hariç her faktör puanı aynı olan iki hammadde sınıfları verilmiştir. Görüldüğü üzere işe etki sınıf belirlemede önemli rol oynamaktadır.

Tablo 4. Müşteri Sınıfları

Müşteri Sınıfı	A	B	C
Müşteri Sayısı	106	258	67

Yukarıda yapılan çok ölçütlü müşteri sınıflandırmasının sonuçları verilmiştir. Klasik ABC analizinde “C sınıfı” fazla çıkması beklenirken müşteri doğası farklı olduğu için burada beklenildiği gibi orta segment daha fazla çıkmıştır.

Tablo 5. Envanter Kontrol Mekanizması Analizi (Artan Servis Düzeyi)

α	s	S	Emniyet Stoku	S-s
0,90	189,64	336,96	57,70	147,31
0,95	205,87	353,19	73,92	147,31

Yukarıda verilen tabloda artan servis düzeyi ile envanter kontrol mekanizması analizi verilmiştir. Beklenildiği gibi sipariş yenileme noktası ve maksimum envanter seviyesi emniyet stoku derecesiyle birlikte artarken S-s aynı kalmaktadır.

Son olarak, karar destek sisteminin içine gömülmüş olan envanter kontrol sistemi simülasyon ile modellenmiş ve çıkan sonuçların birbirine eş olduğu görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

Proje sonucunda 1051 hammadde ve 430 müşteri için sınıflandırma ve yeni envanter politikası, Excel Visual Basic Applications ile karar destek sistemine kodlanmıştır. Ayrıca bu sistem

yeni hammadde ve müşteri eklenmesini ve sınıflandırmada kullanılacak kriterlerin çeşitlendirilmesini sağlayacak esnekliktedir.

Karar Destek Sistemine veri girişinin doğru ve düzenli olması, sistemin daha verimli çalışmasını etkilemektedir. Aynı zamanda sisteme girilecek talep verilerinin mümkün olan en küçük zaman birimi bazında verilmesi ve çok sayıda olması, talebin dağılımını bulmak ve envanter politikasının parametrelerinin doğru belirlenmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır.

KAYNAKÇA

- Fadiloğlu, M.M., Bulut, Ö., 2005. “An embedded Markov chain approach to the analysis of inventory systems with backordering under rationing.” Working Paper, Department of Industrial Engineering, Bilkent University, Ankara, Turkey
- Fadiloğlu, M. M., & Bulut, Ö. 2010. “A dynamic rationing policy for continuous-review inventory systems.” *European Journal of Operational Research*, 202(3), 675-685.
- Kafadar vd. (2014). “Hammadde Envanter Yönetim Sisteminin İyileştirilmesi.” *Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Sistem Tasarım Proje Özetleri 2013-2014*, 159-180.
- Saaty, R. W. 1987. “The analytic hierarchy process—what it is and how it is used.” *Mathematical Modelling*, 9(3), 161-176.
- Silver, E., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). “Inventory management and production planning and scheduling.” New York: Wiley, 1998.
- Silver, E. A., Naseraldin, H., & Bischak, D. P. 2009. “Determining the reorder point and order-up-to-level in a periodic review system so as to achieve a desired fill rate and a desired average time between replenishments.” *Journal of the Operational Research Society*, 60(9), 1244-1253.

Beyaz Et Üretim Sürecinde Günlük Piliç Kesim

Planlama Problemi

Keskinoğlu Tavukçuluk ve Damızlık İşl. San. Tic.

A.Ş.

Proje Ekibi

Bahriye Cansın Gülce, Berk Buralı, Burcu Genç, Kadir Doruk
Aydemir, Muammer Tay

Endüstri Mühendisliği, Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanları

Gülşah Demircan, Sürekli İyileştirme Merkezi Uzmanı
Mesut Ünver, Sürekli İyileştirme Merkezi Uzmanı

Akademik Danışman

Yrd. Doç Dr. Adalet Öner, Arş. Gör. Aylin Akçalı,

ÖZET

Bu projede, tavuk eti üretimi yapan Keskinoğlu A.Ş'nde kesim planlama problemi üzerine çalışılmıştır. Problem, farklı tavuk eti ürün çeşitlerinin günlük taleplerini karşılamak üzere, farklı yaşlardaki farklı cins tavukların parça ve bütün et verimlerini de göz önünde bulundurarak hangi çiftlikten, hangi tavuk cinsinden ve hangi yaştan kaç tane tavuk kesilmesi gerektiğine karar vermektir. Amaç, fazla veya eksik tavuk kesim miktarını en aza indirmektir. Proje kapsamında, kesim planlama problemine bilimsel yöntemlere dayanan sistematik çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu sayede çok daha kısa sürede daha etkin ve esnek kesim planlarının hazırlanması mümkün olmuştur. Ayrıca geliştirilen çözüm yöntemlerinin kolaylıkla kullanılabilmesi için bir karar destek sistemi de geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: planlama, optimizasyon, tavuk eti üretimi, karar destek sistemi

1. Genel Sistem Analizi

Keskinoğlu Şirketler Grubu, 1963 yılında Manisa'nın Akhisar ilçesinde kurulan 510.000 m² kapalı alana sahip bünyesinde yedi adet şirketi barındıran bir kuruluştur. Projemiz, günlük 400.000 adet piliç işleme kapasitesine sahip Keskinoğlu Tavukçuluk kesim tesislerinde gerçekleştirilmiştir.

2. Problemin Belirlenmesi

Bu bölümde, mevcut sistem analizi çerçevesinde şirketteki günlük kesim planlama süreci anlatılmaktadır.

2.1 Mevcut Sistemin Analizi

Tavuk eti üretim süreci, şirketin kendisine ait damızlık kümeslerindeki döllenmiş yumurta üretimi ile başlar. Döllenmiş yumurtalar otomatik kuluçka makinelerinde üç hafta tutulduktan sonra civcivler yumurtalarından çıkarlar. Yeni doğmuş civcivler hemen besleme çiftliklerine gönderilir. Ege bölgesine dağılmış sözleşmeli olarak çalışan 700 adet çiftlik vardır. Çiftliklerin kapasiteleri civciv adedi cinsinden 10.000 – 30.000 arasında değişim göstermektedir.

Civcivlerin olgunlaşp tavuk olmaları ortalama altı hafta kadar sürer. Ancak bu süre sabit değildir. Tavuklar 30-50 günlük olduklarında kesime müsait hale gelirler. Bu sürenin sonunda tavuklar geri toplanarak kesimhanede kesilir ve işlenerek ürün haline getirilirler. Şirket "Ross", "Cobb" ve "Hubbard" olmak üzere üç farklı tavuk ırkı ile çalışmaktadır. Farklı ırkların farklı ürün çeşitlerinde (fileto, kanat, but, baget vb) verimleri farklıdır.

Kesim planlama süreci iki gün öncesinden başlar. Satış bölümü iki gün sonrasının günlük sipariş listesini yayımlar. Örnek bir sipariş listesinin bir bölümü aşağıda Tablo 1 'de verilmiştir. Gerçek sipariş listesi daha uzun bir liste teşkil etmektedir.

Tablo 1. Sipariş Listesi Örneği

Tarih	Malzeme	Malzeme kısa metni	Mal grubu	Sip. Miktarı (Kg)
2.1.2016	PM100322	Tz. Açık Yarım Fileto	Fileto	9165
2.1.2016	PM100784	Tz. Poşetli Bütün Piliç (900-1100 gr arası)	Bütün	31983
2.1.2016	PM100200	Tz. Açık İncik	Üst But	3087
2.1.2016	PM100815	Tz. Byk. Tb. Kalçalı But C.	But	5506
2.1.2016	PM100818	Tz. Byk. Tb. Izg. Kanat C.	Kanat	3084
2.1.2016	PM100819	Tz. Byk. Tb. Baget C.	Baget	6662
2.1.2016	PM100786	Tz. Poşetli Bütün Piliç (1500-1700 gr arası)	Bütün	9719
...

Sipariş listesindeki tüm kalemleri “bütün piliç”, “fileto”, “kanat”, “üst but”, “but” ve “baget” olmak üzere toplam altı ana mal (ürün) grubu altında toplamak mümkündür. Dolayısı ile sipariş listesi daha basit bir tabloya dönüştürülebilmektedir.

Planlama bölümü, basitleştirilmiş sipariş tablosunu elde ettikten sonra, talepleri karşılamak için kaç tavuk kesilmesi gerektiğini hesaplar. Burada basit bir hesaplama tekniği kullanılır. Her tavuğun ortalama canlı ağırlığı 2500 gram, kesilip temizlendikten sonraki karkas ağırlığı ise 1750 gram kabul edilir. Bütün tavuk siparişlerinin toplam ağırlığı 1750’ye bölündüğünde kaç tane tavuk kesilmesi gerektiği ortaya çıkar.

Tavuk parçalarının siparişleri için hesaplama biraz farklıdır. Tek bir tavuk parçalandığında ürün gruplarından hepsinden değişik miktarlarda elde edilir. Bir tavuktan elde edilen “fileto”, “kanat”, “üst but”, “but” ve “baget” miktarları, önceki tecrübelerle dayanan sabit randıman katsayıları kullanılarak hesaplanır. Örneğin kesilip temizlenmiş bir tavuğun karkas ağırlığına göre fileto randıman katsayısı 0,400, kanat randıman katsayısı 0,157 ve but randıman katsayısı 0,443 olarak belirlenmiştir. Bir “but” parçalandığında da üst but ve baget elde edilir. Bir but içinde baget randıman katsayısı 0,42, üst but randıman katsayısı

ise 0,58 olarak alınmaktadır. Bu katsayılar kullanılarak her bir ürün grubu için kaç tane tavuk kesilmesi gerektiği hesaplanabilir. Bulunan sayılardan en büyüğü alınarak tavuk parçaları siparişleri için ihtiyaç duyulan tavuk sayısı belirlenmektedir.

Planlama sürecinin ikinci aşamasında, ihtiyaç duyulan tavuk sayısının hangi çiftlikten kaç adet tavuk çekerek karşılanabileceğine karar verilmelidir. Bu amaçla çiftlik bilgilerine bakılır. Hangi çiftlikte, hangi cinsten, kaç günlük ve kaç adet tavuk bulunduğu bilinmektedir. Örnek kümes bilgileri Tablo 2’de verilmiştir. Gerçek kümes bilgileri tablosu 700 satırdan fazla satır içermektedir. Bu tablonun 02 Ocak 2016 gününe ait kesim planlaması için kullanılacağı varsayılmaktadır.

Tablo 2. Kümes Bilgileri

Civciv Giriş Tarihi	Kümes Günü (Yaş)	Kümes No	İrk	Kümes Mevcudu	Temel Ölçü Birimi
14.11.2015	050	3950	HUBBARD	11702	ADET
15.11.2015	049	3161	ROSS	13181	ADET
15.11.2015	049	3724	ROSS	13691	ADET
18.11.2015	046	3450	COBB	17668	ADET
20.11.2015	044	3594	HUBBARD	12117	ADET
.....
26.11.2015	037	3596	HUBBARD	21553	ADET

Hangi çiftlikten kaç adet tavuk çekileceğine karar verileceği zaman önemli bir kısıtlama ile karşılaşılır. Ya çiftlikteki tavukların tamamı veya çiftlik mevcudunun %20’si kadar tavuk çekilebilir. Bu kural gerçek hayatta uygulanmaktadır ve çiftlik sahiplerinin haklarını korumak için konmuştur. Çünkü çiftlik sahipleri besledikleri tavukların toplam karkas ağırlığına göre ödeme alırlar. Parça parça sayıda tavuk çekildiğinde çiftliğin kullanım oranı düşmektedir. Çiftlik mevcudunun %20’si kadar tavuk çekilmesi durumuna “seyreltme” denilir. Tavuklar büyüdükçe daha fazla alana ihtiyaç duydukları için, sağlıkları açısından bu yola başvurulabileceği karşılıklı kabul edilmiştir. Ancak seyreltme bir kere yapılabilir.

Bu şartlar altında problem; talepleri karşılamak üzere sayısı belirlenmiş tavukların hangi çiftliklerden hangi yolla (tümü veya seyreltme yoluyla) karşılanacağına karar vermektir. Çok büyük bir ihtimalle birden fazla çiftlik seçilecektir. Bu karar verilirken farklı kombinasyonlar denenerek bir karara varılmaya çalışılır. Bu süreç deneme yanılma yöntemiyle bir elektronik tablolama programında elle yapılmaktadır. Sistematik ve bilimsel bir yaklaşım yoktur.

2.2 Sistemde Gözlemlenen Semptomlar

Projeden önce kesim planlanması yapılırken hesapların içinden çıkabilmek için çeşitli varsayımlar yapılmaktadır. Öncelikle, tüm tavukların sabit 2,5 kg canlı ağırlığa sahip olduğu varsayılmaktadır. Oysa bu durum doğru değildir. Aşağıdaki bölümlerde açıklanacağı gibi hayvanların ağırlıkları geniş bir aralığa düzgün olmayan bir şekilde saçılmaktadır (dağılmaktadır). Ayrıca, tavukların yaşı ihmal edilmektedir. Her tavuk aynı yaşta ve sabit 2,5 kg canlı ağırlığa sahip oldukları varsayılmaktadır. Oysa tavukların ortalama ağırlığının yaşlarına göre değiştiği tespit edilmiştir. İlave olarak, tavukların ırkı ihmal edilmektedir. Oysa bilinmektedir ki farklı ırkların ürün gruplarındaki randımanları farklılık göstermektedir.

Bütün bu olumsuz etkenler nedeniyle yapılan kesim planlaması etkin olmamakta, çeşitli mal grupları bazında ya gereğinden fazla veya gereğinden az üretime yol açmaktadır.

2.3 Problemin Tanımı

Projenin ele aldığı kesim planlama problemi, siparişleri karşılamak üzere hangi yaştan ve hangi ırktan kaç adet tavuk kesileceğinin bulunmasını gerektirmektedir. Bu amaçla hangi çiftlik(ler)den hangi yolla tavuk çekileceğine karar verilmesi gerekmektedir.

2.4. Teknik Yazın Taraması

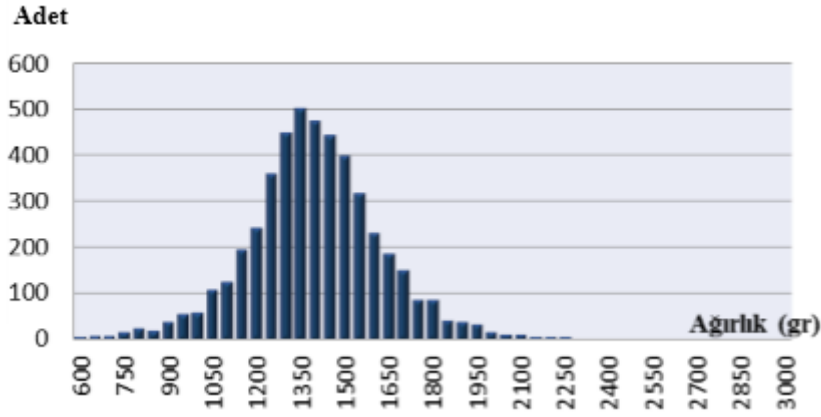
Öncelikle, Löhren'in (2012) tavukçuluk sektöründeki temel kavramları ve sektörün tüm yönlerini anlatan makalesi okunmuştur. Bunun yanında, proje konusu bir eniyileme (optimizasyon) projesi olduğu için eğitimimizde aldığımız derslerde kullandığımız Winston'ın (2004), Hillier (2005) ve Lieberman'ın (2005) kitaplarında benzer problemler olup olmadığı araştırılmıştır.

Teknik yazında iki adet çalışma bulunmuştur. Birincisi, Benhür Satır (2003) tarafından hazırlanan bir yüksek lisans tezidir. Bu tez çalışması, entegre tavuk organizasyonları için genel üretim ve finansal planlama problemi üzerine olup damızlık kümesleri, kuluçkahâne, piliç üretim kümesleri, yem fabrikası, kesimhâne ve pazarlama gibi tüm operasyonları ve birbirleriyle olan ilişkilerini ele almıştır. Bu çalışma stratejik seviyede tüm tavuk eti üretim sistemini ele almaktadır. Çok daha genel bir model üzerinde çalışıldığından tavukların ırkları ve yaşları ile ilgili ağırlık ve randıman farklılıkları dikkate alınmamaktadır. Oysa bizim projemiz operasyonel seviyede bahse konu tüm farklılık ve ayrıntıları dikkate alan kesim planlama problemine odaklanmıştır.

Diğer bir bilimsel makalede, Taube-Netto (1996) Brezilya'da faaliyet gösteren bir şirkette kümes hayvancılığı üzerine entegre planlama çalışması anlatılmaktadır.

3. Problem Formülasyonu ve Karar Destek Sistemi

Problemin formülasyonuna geçmeden önce, kesim süreci gözlemlenmiş ve veriler toplanmıştır. Öncelikle kesimhanede işlenen tavukların karkas ağırlıklarına ilişkin geçmiş veriler toplanarak analiz edilmiştir. Şekil 1'de belirli bir yaş ve ırktan kesilen tavukların karkas ağırlıklarının dağılımı görülmektedir. Kolaylıkla farkedilebileceği gibi ağırlık dağılımı normal dağılımın tüm özelliklerini göstermektedir.



Şekil 1. Tavukların Karkas Ağırlığı Dağılımı

Farklı ırk ve yaştaki tavukların karkas ağırlıklarının dağılımı incelendiğinde hepsinin normal dağılıma uymakla birlikte farklı parametrelere sahip oldukları gözlemlenmiştir. Bu analizler 30-50 gün aralığındaki her yaş ve her ırk için tekrarlanmış ve normal dağılım parametreleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Karkas Ağırlıklarının Yaş ve Irka Göre Dağılım Parametreleri

YAŞ	HUBBARD (IRK)		ROSS (IRK)		COBB (IRK)	
	ORTALAMA (gr)	STANDART SAPMA(gr)	ORTALAMA (gr)	STANDART SAPMA(gr)	ORTALAMA (gr)	STANDART SAPMA(gr)
30	886,40	123,50	916,80	131,14	1089,04	138,72
31	942,42	139,95	1087,91	205,78	1175,16	163,03
..
50	2019,97	314,02	2163,57	350,30	2250,59	342,93

Diğer taraftan farklı ürün gruplarına göre ırk ve yaşa bağlı olarak verim farklılıkları olup olmadığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4’te özetlenmiştir.

Tablo 4. Karkas Ağırlığı Baz Alındığında Parça Randıman Oranları

IRK	Fileto	Kanat	But	But Kırılımı	
				Üst But	Bağet
Ross	0,40	0,16	0,44	0,25	0,19
Hubbard	0,36	0,17	0,47	0,26	0,21
Cobb	0,41	0,15	0,44	0,25	0,19

3.1 Matematiksel Model

Kümeler:

F: Tavuk Çiftlikleri Kümesi

C: Tavuk Parçaları Kümesi (Kanat, Fileto, But, Üst But, Baget)

B: Tavuk Irkları Kümesi (Cobb, Hubbard, Ross)

W: Gramaj Ağırlıkları Kümesi

M: Seyreltme Miktarları Kümesi

İndisler:

Tavuk çiftliği indisi (*i*) $i = \{1,2,3..700\}$

Bütün piliç gramaj aralığı indisi (*k*) $k = \{1..L\}$

Tavuk parçaları indisi (*c*) $c = \{Kanat, Fileto, But, Üst But, Baget\}$

Tavuk ırkı indisi (*b*) $b = \{Cobb, Hubbard, Ross\}$

Kesim yöntemi indisi (*j*) $j = \{1,2\}$ 1: Bütün piliç 2: Parçalanacak

Tavuk çiftliği seçme yöntemi indisi (*m*) $m = \{1,2\}$

Parametreler:

CS : Günlük kesimhane kapasitesi (400.000 tavuk)

$P_{i,k}$: Kümes (*i*)' deki bir tavuğun gramaj aralığı (*k*)'da bulunma olasılığı

DC_c : Tavuk parçaları talebi (kg)

DW_k : Gramaj aralığı (*k*)'dan istenen tavuk talebi

$N_{i,m}$: Kümes (*i*)'den (*m*) seçme yöntemi ile alınan tavuk miktarı

$R_{i,k,c}$: Kümes (*i*)'de, (*k*) aralığındaki bir tavuğun (*c*) parçası verimi

P_1 : Bütün tavuğun amaç fonksiyonundaki önem derecesi

P_2 : Tavuğun parçalarının amaç fonksiyonundaki önem derecesi

Karar Değişkenleri:

$$Y_{i,m} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer tavuk çiftliği } m \text{ seçme yöntemi ile seçildiyse} \\ 0, & \text{Seçilmediyse} \end{cases}$$

$XW_{i,k}$: Kümes (i)'den (k) gramaj aralığında olan ve bütün piliç olarak kullanılacak tavuk miktarı

$XC_{i,k}$: Kümes (i)'den (k) gramaj aralığında olan ve parça et üretimi için kullanılacak tavuk miktarı

D_c^+ : Tavuk parçaların taleplerinin üstünde karşılama miktarı

D_c^- : Tavuk parçaların taleplerin altında kalma miktarı

D_k^+ : Bütün tavuk taleplerinin üstünde karşılama miktarı

D_k^- : Bütün tavuk taleplerinin altında kalma miktarı

Amaç Fonksiyonu:

$$\min Z = P_1 * \sum_{k=1}^L (D_k^+ + D_k^-) + P_2 * \sum_{c=1}^5 (D_c^+ + D_c^-)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{m=1}^2 Y_{i,m} \leq 1, \quad \forall i = 1..700 \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^L (XW_{i,k} + XC_{i,k}) = \sum_{m=1}^2 (N_{i,m} * Y_{i,m}), \quad \forall i = 1..700 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{700} \sum_{m=1}^2 (Y_{i,m} * N_{i,m}) \leq CS \quad (3)$$

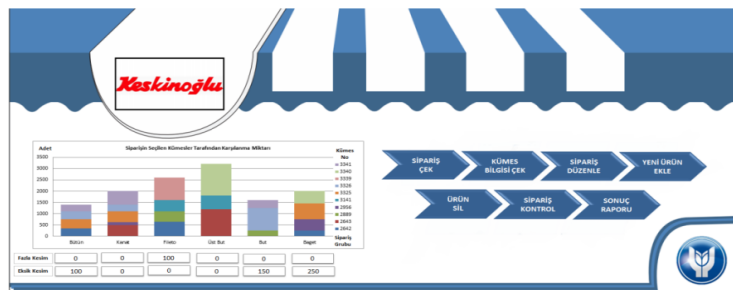
$$XW_{i,k} \leq P_{i,k} * \sum_{m=1}^2 (Y_{i,m} * N_{i,m}), \quad \forall i = 1..700, \forall k = 1..L \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{700} (XW_{i,k} - D_k^+ + D_k^-) = DW_k, \quad \forall k = 1..L \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{700} (XC_{i,c} - D_c^+ + D_c^-) = DC_c, \quad \forall c = 1..5 \quad (6)$$

3.2 Karar Destek Sistemi

Karar Destek Sistemimiz kullanıcıyı Şekil 2'te görüldüğü gibi giriş sayfası ile karşılamaktadır.



Şekil 2. Karar Destek Sistemi Kullanıcı Karşılama Ekranı

Kullanıcı öncelikle SAP üzerinden günlük sipariş miktarı ve saha kümes durumu verilerini “Sipariş Çek” ve “Kümes Bilgisi Çek” butonları ile çekebilir. “Sipariş Düzenle” butonu karışık bir ürün grubu kodu ile gelen sipariş verilerini 6 ana ürün grubuna ayırır. “Sipariş Kontrol” butonu sipariş verileri içerisinde yanlışlık varsa, uyarı metni ile kullanıcının bilgilendirilmesini ve “Ürün Kodunu Güncelle” butonu hatanın yapıldığı yerin revize edilmesini sağlar. Ayrıca, “Yeni Ürün Ekle” butonu ile sistemde mevcut olmayan yeni ürün kodu eklenebilir, “Ürün Sil” butonu ile şirketin artık kullanmayacağı ürün var ise silinebilir. Ardından kullanıcı “Sonuç Raporu” butonu ile güncel saha kümes listesi içerisinde günlük siparişi karşılamak üzere lingo programı yardımıyla arka planda en uygun olarak çözülen problemimizin çıktılarını ve bu çıktılar doğrultusunda seçilen uygun kümesleri grafik üzerinden görebilir.

4. Sayısal Sonuçlar

Geçmişe yönelik günlük sipariş listelerine ulaşmak mümkündür. Bunların arasından 10 Aralık 2015 tarihindeki sipariş listesi ele alınmış ve fabrikadaki alışılmış yöntemler ile kesim planı hazırlanmıştır. Bu kesim planına göre toplamda 119.000 adet tavuk kesildiği görülmüştür. Fakat o gün için sipariş listesi incelendiğinde toplamda 95.336 adet tavuğun kesilmesi yeterli olacaktır. Aynı günün verilerini kendi modelimizde çözdüğümüzde talebi karşılayacak tavuk miktarı 99.196 adet olarak bulunmuştur. Bu sayede, mevcut sistemde %25 oranında fazla kesim yapılırken, şirket onlara sunacağımız karar destek sistemi ile aynı talebi sadece % 3 oranında fazla kesimle karşılayacaktır.

4.1 Doğrulama, Geçerleme ve Duyarlılık Analizi

Geçerleme aşamasında matematiksel modelin yapısı adım adım kontrol edilmiştir. Ayrıca getirdiği çözümler ayrıntılı olarak gözden geçirilmiş, çapraz kontroller ile doğru ve mantıklı oldukları gözlenmiştir.

Fabrika yetkilileri ile tartışılarak bu çözümlerin geçerli olduğundan emin olunmuştur.

Doğrulama aşamasında ise modelin ihtiyaçlar ve isteklere uygun olduğu konusunda fabrika yetkilileri ile mutabık kalınmıştır.

Duyarlılık analizi kapsamında farklı günlere ait problemler çözülmüş ve geliştirilen yöntemin üstünlüğü gösterilmiştir. Ayrıca modelde amaç fonksiyonundaki öncelik katsayıları olan P_1 ve P_2 parametrelerinin farklı değerleri için çözümler elde edilerek sonuçlardaki farklılıklar yorumlandı. Bu farklılıklar şirket yetkilileri ile tartışıldı.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Proje sonucunda, beyaz et üretim sürecinde günlük piliç kesim planlama problemi için bilimsel yöntemlere dayanan bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca çözüm yönteminin kolaylıkla kullanılabilmesi için karar destek sistemi oluşturulmuştur. Bu sayede çok daha kısa sürede ve daha etkin çözümler elde etmek mümkün olmaktadır. Bu proje sonuçlarının, tavuk eti üretimi yapan ve benzer tesisler ile organizasyonları kullanan diğer şirketlerde de kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Geliştirilen çözüm yönteminin etkinliğinin daha da artırılabilmesi için; fason kümeslerdeki ölüm oranlarını hesaplamalanması, ırk ve yaş bazlı parça randıman değerlerine ilişkin daha fazla verinin toplanması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Hillier, F.S., Lieberman, G.J., (2005). "Introduction to Operations Research", 8th Edition, McGraw Hill, USA.
- Löhren, U., (2012) "Overview on current practices of poultry slaughtering and poultry meat inspection", European Food Safety Authority (EFSA) Supporting Publications, 2012:EN-298.

- Satır, B. (2003). “A General Production and Financial Model for Integrated Poultry Organizations”, M.S. Thesis, METU, Ankara, Turkey.
- Taube-Netto, M. (1996). “Integrated Planning for Poultry Production at Sadia”, Institute for Operations Research and the Management Science, 38-53.
- Winston, W. (2004). “Operations Research Applications and Algorithms”, Thomson Brooks/Cole, USA.

Şarküteri Paketleme Hattında Performans Analizi ve Çizelgeleme

Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş.

Proje Ekibi

Günce Cellek, Ahu Çardak
Cansu Muğla, Selenay Süzmetaş
Yasemin Yücel

Endüstri Mühendisliği, Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

İlker Parlak, Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş. Planlama Ekip Lideri
Birce Avcı, Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş. Planlama Uzmanı

Akademik Danışman

Prof. Dr. Sencer Yeralan, Araş. Gör. Özgün Öztürk

ÖZET

Pınar Et ile yürütülen bu projede şarküteri paketleme hatlarının performans analizi ve çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Pınar Et firmasının bütünleşmiş üretim tesisinde birçok farklı tip ürün bulunmaktadır. Bu ürünler farklı üretim hatlarında işlenmesine rağmen, farklı özellikteki makinelerin bulunduğu tek bir paketleme merkezi vardır. Bu projenin amacı birbiriyle ilişkisi olmayan paralel makinelerin çizelgelemesine olanak sağlamaktır. Paketleme işleminin tamamlanma süresini minimize etmek için karma tam sayılı model geliştirilmiştir. Çözüm sürelerinin uzunluğu nedeniyle problemin çözümü için sezgisel bir yöntem önerilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin ve sezgisel yöntemin sayısal sonuçları karşılaştırılmıştır. Problemin sayısal ve görsel çözümüne yönelik karar destek sistemi geliştirilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Tamamlanma süresi minimizasyonu, ilişkisiz paralel makineler, sezgisel yöntem

1. Genel Sistem Analizi

Yaşar Holding 69 yıllık varlığı ile 20 şirket, 19 fabrika, 7000'den fazla çalışanı ve 200.000 satış noktasıyla hizmet veren Türkiye'nin en büyük ekonomik aktörlerinden biridir. Pınar Et 1983 yılında Kemalpaşa'da kurulmuş olup 938 çalışanıyla ve yaklaşık 90 şarküteri ürünüyle sorumluluk sahibi ve güvenilir bir Yaşar Holding kuruluşudur.

Pınar Et yüksek teknolojisi, yenilikçi üretim teknikleri ve yüksek tecrübesiyle müşterilerin farklı taleplerini ve beklentilerini karşılamaktadır. Yarattığı yeni market trendleri rakipleri tarafından takip edilmektedir.

Pınar Et'in üretim aşamaları EU yönergeleriyle uyumludur ve bu aşamalar her yıl TSI ve SAI Global tarafından denetlenmektedir.

Pınar Et geniş ürün yelpazesisiyle sektöründe lider konumundadır. Donuk gıdaları, et ürünleri ve deniz mahsullerine ek olarak şirket için en önemli gelir kaynağı şarküteri ürünleridir. Şarküteri kategorisinde sucuk, salam, sosis, kavurma ve jambon üretimine sahiptir. İşlenmiş ürün satışlarında salam %46, sucuk %31 ve sosis %23'lük paya sahiptir.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut Sistemin Analizi

Pınar Et'in sistem akışı satış bölümünün siparişleri almasıyla başlar. Bu siparişler SAP sistemine girilir ve planlama bölümü bu bilgilere göre 3 aylık üretim planını yapar ancak siparişler günlük geldiği için üretim planlarındaki yenileme oranları haftalık %40 civarındadır. Üretim planına göre hammaddeler tedarik edilir. Büyükbaş hayvan ihtiyacı Ege ve İç Anadolu bölgelerinin yerel süt üreticilerinden, çiftlik hayvanları da Çamlı Besicilik ve anlaşmalı diğer çiftliklerden karşılanır. Canlı hayvan hammaddeleri kesimhanelerde kesildikten sonra Pınar Et fabrikasına gelir ve üretim başlar. Ürünlerin çeşidine göre farklı adımlar

izlenir. Üretim aşamasını paketleme izler ve üretimi tamamlanmış ürünler paketleme merkezine gelir. Paketleme merkezinde 10 adet paketleme makinesi vardır. Bunların 3 tanesi dilimli ürünler, 2 tanesi vakumlu sosisler, 2 tanesi vakumlu sucuklar ve diğer 3 tanesi de basit paketlenen ürünler içindir. Ürünler çeşidine ve paket tipine göre farklı makinelerde tartma, dondurma, kesme ve doldurma gibi işlemlerden sonra paketlenir. Bazı ürünler ise üretimden paketlenmiş halde çıkar ve bu ürünlere sadece etiketleme işlemi uygulanır. Paketlenen ürünler depo çalışanları tarafından karton kutulara konur ve bu kutular paletlerde istiflenerek depolara kaldırılır. Depolara kaldırılan ürünler buradan müşterilere dağıtılır.

2.2 Sistemde Gözlemlenen Semptomlar

Firma ile yapılan görüşmeler ve gözlemlerimiz, şarküteri bölümünde paketleme ile ilgili iyileştirmelere ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. Şarküteri paketleme bölümü, üretim bölümünden ayrı planlama yapamamaktadır. Siparişler günlük geldiği için üretim planı sürekli güncellenmektedir ve üretim plana göre yapılmadığı takdirde paketleme de bu durumdan etkilenmektedir. Ancak paketleme, ürünlerin hazır hale getirilmesinde son aşama olduğundan önemli bir aşamadır. Burada insan gücü yoğun olarak kullanılmaktadır ve makine-işçi atamaları vardiya şefinin tecrübelerine ve işçi yetkinliklerinin analizine göre yapılmaktadır. Makineler farklı ürünler için farklı kapasitelere sahip olup paket şekline göre farklı makineler mevcuttur. Şarküteri kısmında paket gramajları ve şekilleri ile birlikte 90'dan fazla ürün vardır. Aynı zamanda ürünlerin paketlenmeden önce bekleme süreleri de soruna yol açtığı için ürünlerin en kısa zamanda paketlenmesi ve soğuk hava depolarına kaldırılması gerekmektedir. Paketleme alanının düzensiz olması da işçiler için angarya işlerin artmasına sebep olmaktadır. Bütün

bu gözlemler ile varılan sonuç paketleme çizelgelemesinde iyileştirmeye gidileceğidir. İşçiler ürünleri yetiştirebilmek için yoğun zamanlarda fazla mesai yapmak zorunda kalmaktadır. Şirket için bu çizelgelerin görsel olarak aktarılması da problemlerin anlaşılabilirliği açısından önemlidir.

2.3 Problemin Tanımı

Pınar Et firmasının şarküteri paketleme bölümünde fazla mesai saatlerini azaltmak ve ürünlerin üretimden çıktıktan sonra en kısa sürede paketlenmesi için uygun bir çizelgeleme modeli oluşturmak problemi en kısa ve anlaşılır biçimde tanımlamaktadır.

Ürünler çeşidine ve paket tipine göre gerekli özelliklere sahip makineler tarafından paketlenmektedir. Paketleme aşamasında ürünler sadece birer makinede işlem görmektedir. Bazı makineler benzer özelliklere sahip olmalarına ve aynı ürünleri paketleyebilmelerine rağmen bazıları ise farklı özelliktedirler ve birbirinden farklı işleri yapmaktadırlar. Bu tip problemler literatürde İlişiksiz Paralel Makine Çizelgelemesi olarak yer almaktadır.

2.4 Teknik Yazın Taraması

Chatuverdi ve Sahu (2011) çalışmalarında bilgisayar ortamında birbirinden bağımsız işlerin bilgisayarlı kaynaklara atanmasını ele almıştır. Bu kaynaklar birbirlerinden farklıdır ve her iş için sadece bir kaynak gerekmektedir. Amaç beklenen tamamlanma süresini kısaltmaktır. Bu çalışmada minimum uygulama zamanı, minimum tamamlanma zamanı, değiştirme algoritması gibi sezgisel yöntemlerden bahsedilmiş, yeni bir sezgisel yöntem geliştirilmiş ve değişik verilerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sivasankaran ve diğerleri (2010) ilişiksiz paralel makinelerde tek makine çizelgelemesinde toplam tamamlanma süresini minimize etmek için etkili bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Problemden N tane bağımsız iş ve M tane ilişiksiz paralel makine bulunmaktadır. Oluşturdukları sezgisel yöntem işlerin makinelere atanması ile başlamakta, daha sonra bu işlerin atandıkları makinelerden başka makinelere taşınarak toplam tamamlanma sürelerinin kıyaslanmasıyla devam etmektedir. En uygun çözüm bulunduğunda işlem sona ermektedir.

Santos ve diğerleri (2014) ilişiksiz paralel makinelerde toplam tamamlanma süresini azaltmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu tip problemler NP-zor olarak tanımlanmaktadır, problemin boyutu arttıkça çözüm sürelerinin doğrusal olmayan bir şekilde artması sonucu, daha kısa sürede sonuç veren bir sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sezgisel yöntem, işleri rasgele olarak en kısa sürede tamamlayan makineye atamayı temel alan ‘Minimum Tamamlanma Süresi’ sezgiselinin modifiye edilmiş halidir. Bu modifikasyonda, bir ürünün atanabileceği makinelerdeki işleme sürelerinin ortalamaları alınır ve bu ortalamadan minimum makine süresi çıkarılır (MS index). Bir sonraki aşamada her ürün için ayrı ayrı bulunan bu değerler azalan sıraya göre dizilir ve ürünler bu sıraya göre en az sürede tamamlandığı makineye atanır. Bu sezgisel literatürde ‘Modified Ordered Minimum Completion Time’ (MOMCT) olarak geçmektedir.

Agrawal ve Sinha (2015) çalışmalarında ilişiksiz paralel makinelerde toplam tamamlanma süresi minimizasyonunu ele almışlardır. Onlar da Santos ve ekibi gibi işlerin atanabileceği minimum süreli makineye atamayı baz alan ‘Minimum Tamamlanma Süresi’ sezgiselini kullanmışlardır ve aynı şekilde modifiye etmişlerdir.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Varsayımlar

Problem, aşağıda belirtilen varsayımlar doğrultusunda ‘deterministik karma tamsayı problemi’ olarak modellenmiştir.

- Bütün işler birbirinden bağımsızdır.
- Ürünlerin işlem süreleri deterministiktir.
- Herhangi bir zamanda, bir makine en fazla bir iş yapabilir.
- Bütün makineler başlangıç anında müsait durumdadır.
- Her makine ve iş için, hazırlık süresi sabittir.
- Başlangıç anında bütün işler paketleme işlemi için hazır haldedir ve öncüllük kısıtı yoktur.
- Herhangi bir makinede paketleme işlemi, başladıktan sonra paketlenen ürün bitinceye kadar devam eder.

3.2 Parametreler ve Karar değişkenleri

Geliştirilen bu matematiksel model ‘Extended Lingo 15.0 ’ kullanılarak çözülmüştür.

Parametreler:

p_{ik} : i ürününün k makinesindeki paketlenme süresi

q_{ij} : Herhangi bir makinede j ürününden sonra i ürününün paketlenmesi durumunda hazırlık süresi

d_i : i ürünün talep miktarı

M : Büyük sayı

Karar Değişkenleri:

X_{ik} : i ürünü k makinesinde paketleme işlemi görüyorsa 1,

aksi durumda 0

W_{ik} : i ürününün k makinesindeki paketlenme miktarı

S_{ik} : i ürününün k makinesinde paketlenmeye başlama zamanı

H_{ijk} : j ürünü k makinesinde i ürününden hemen sonra paketlenirse 1, aksi durumda 0

C_{max} : Tüm paketleme işleminin tamamlanma süresi

3.3 Matematiksel Model

Min C_{max}

Kısıtlar:

$$S_{ik} + W_{ik} * p_{ik} \leq C_{max} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (1)$$

$$W_{ik} \leq X_{ik} * M \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$H_{ijk} = 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in K, i=j \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N H_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in N, \forall k \in K$$

(5)

$$\sum_{i=1}^N H_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \in N, \forall k \in K \quad (6)$$

$$H_{ijk} + H_{jik} \leq X_{ik} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in K \quad (7)$$

$$1 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N H_{ijk} > \sum_{i=1}^N X_{ik} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (8)$$

$$(1 - H_{ijk}) * M + S_{jk} \geq C_{ik} + q_{ij} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (9)$$

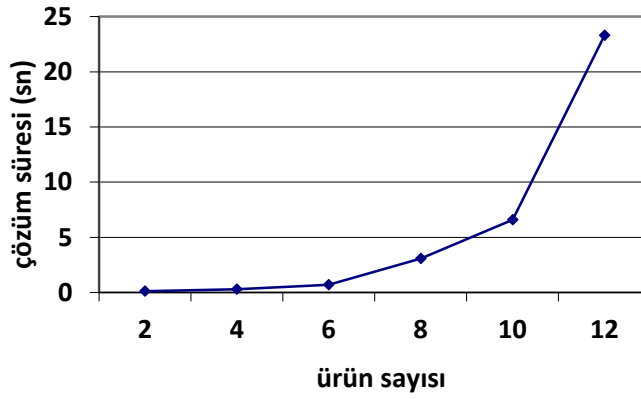
$$\sum_{k=1}^K W_{ik} \geq d_i \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$W_{ik}, S_{ik} \geq 0, X_{ik} = \{0, 1\}, H_{ijk} = \{0, 1\} \quad (11)$$

Modelin amaç fonksiyonu bütün işlerin tamamlanma süresinin minimize edilmesini sağlar. Kısıt (1), bütün makinelerdeki işlerin tamamlanma süresinin C_{max} 'ten küçük olmasını sağlar. Kısıt (2), i ürününün k makinesindeki paketlenilebilirliğini kontrol eder. Kısıt (3), işlerin bölünemeyeceğini gösterir. 4, 5, 6, 7 ve 8 numaralı kısıtlar k makinesindeki ardışık işleri kontrol eder. Kısıt (9) herhangi bir makinede birden fazla ürünün paketlenmemesini sağlar. Kısıt (10) ise k

makinesinde paketlenen ürün miktarının, gelen talebi karşılamaını sağlar. Kısıt (11), sürekli karar değişkenlerinin tanım kümelerini ifade eder.

3.3.1 Çözüm Yöntemi



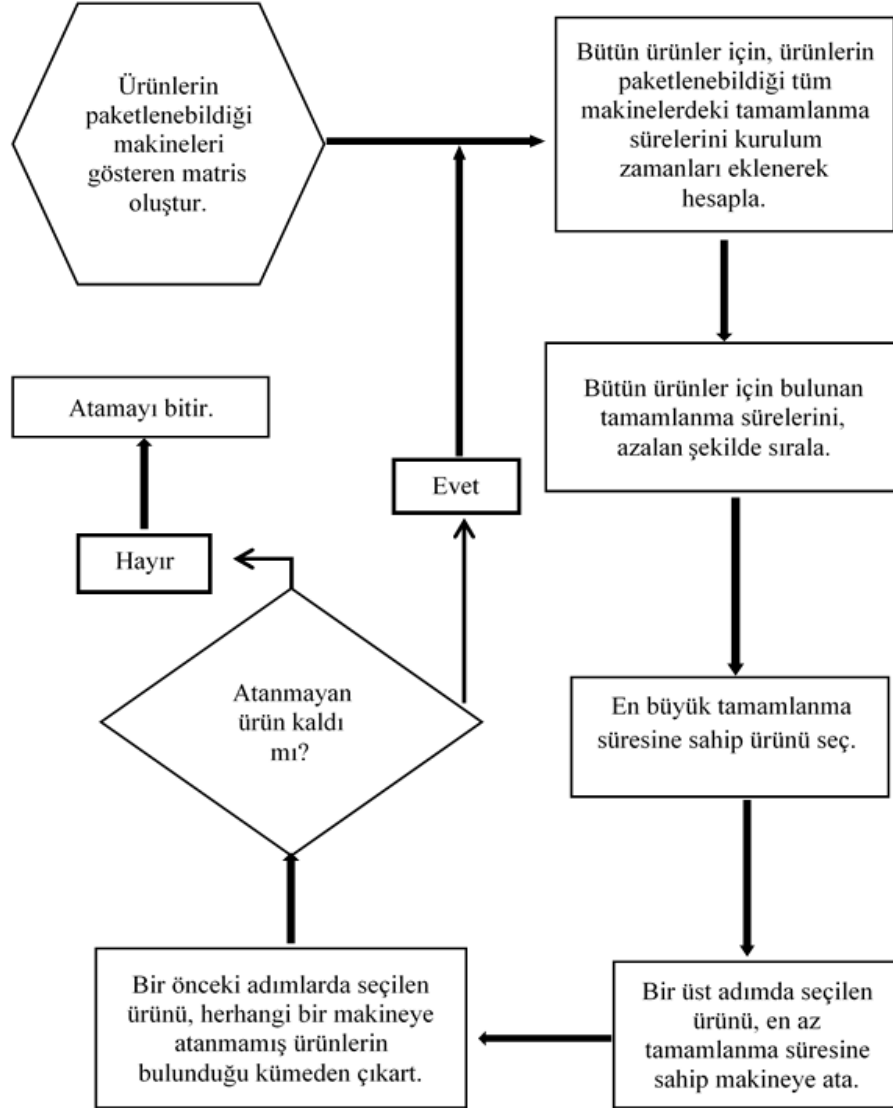
Şekil 1. Ürün sayısı ve çözüm süresi ilişkisi (8 makineye göre)

Geliştirilen matematiksel model, sentetik verilerle Lingo programı kullanılarak test edilmiş fakat ürün ve makine sayısı arttıkça en iyi sonuca ulaşma süresinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 1’de görüldüğü gibi sekiz makine için ürün sayısı arttıkça problemin çözüm süresi de artmaktadır. Bu çözüm süreleri firma için uygulanabilir değildir. Çünkü Pınar Et paketleme alanında, yaklaşık olarak doksan farklı ürünle ve on makine ile hizmet vermektedir. Bu durum göz önüne alınarak çözüm için daha kısa sürede sonuç veren sezgisel (heuristic) yöntemlerin kullanılmasına karar verildi. Geliştirilen sezgisel yöntemin firma tarafından kullanılabilir bir karar destek sistemiyle uygulanabilir hale getirilmesine karar verildi.

Sezgisel Yöntem

Geliştirilen model NP zor olduğundan ve kısa sürede çözmek mümkün olmadığından, kısa sürede bizi uygulanabilir iyi bir sonuca

ulaştırarak sezgisel bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu çözüm yöntemi oluşturulurken, literatürde araştırılan algoritmalar göz önünde bulundurulmuştur. Geliştirilen yöntemin işleyişi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sezgisel Yöntemin Akış Diyagramı

4. Sayısal Sonuçlar

Geliştirilen sezgisel çözüm yöntemi sentetik verilerle denenmiş, ürün ve makine sayısından bağımsız olarak kısa sürede en iyiye yakın

sonuçlar elde edilmiştir. Böylelikle Pınar Et'in paketleme alanında günlük planlama yapılmasına olanak sağlanmıştır.

Tablo 1. Model ve Sezgisel Yöntemin Karşılaştırması

Makine- Ürün	En iyi (C_{max})	Sezgisel Yöntem (C_{max})	Sezgisel ve En iyi Arasındaki Sapma (%)
6-2	20	20	0,00
6-4	30	30	0,00
6-6	60	80	33,33
6-8	100	140	40,00
6-10	150	200	33,33
7-2	20	20	0,00
7-4	30	30	0,00
7-6	30	30	0,00
7-8	100	120	20,00
7-10	100	160	60,00
8-2	20	20	0,00
8-4	30	30	0,00
8-6	30	30	0,00
8-8	100	130	30,00
8-10	100	100	0,00

Sentetik verilerle çözülen matematiksel model ve sezgisel yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır ve Tablo 1' de gösterilmiştir. Buna ek olarak matematiksel model ve sezgisel yöntem arasındaki sapma yüzdeleri hesaplanmıştır. Matematiksel model sonuçlarını almak uzun zaman aldığı için, en fazla sekiz makine ve on ürüne kadar hesaplama yapılmıştır.

Sezgisel yöntem ve model arasındaki farklar, genellikle altı makine ve sonrasında olduğu için Tablo 1’ deki sonuçlar altı makineden başlamıştır. Ürün sayısı yönünden baktığımızda ise sezgisel yöntem ve model arasındaki farklar genellikle sekiz ürün sonrasında oluşmuştur. Böylelikle, tecrübeye bağlı olarak yapılan ürün-makine atamaları sistematik bir çözüm yöntemine göre planlanmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Pınar Et’in paketleme alanında tecrübeye bağlı olarak yapılan ürün-makine atamaları, buna bağlı olarak gelişen sistematik aksaklıkları gidermek için, hangi ürünün hangi makinede paketleneceğini gösteren ve işlerin tamamlanma sürelerini en aza indiren karar verici bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem de fabrika için iyi bir yönlendirici araç olacaktır. Paketleme alanındaki ürün-makine atamaları, paketleme alanında görevli yetkili bir kişi tarafından tecrübeye bağlı olmaksızın belli bir sistematığe göre yapabilecektir. Ürünlerin makinelere atanmasının sistematikleştirilmesiyle akademik anlamda ve firma açısından yararlı bir çalışma yapılmıştır.

KAYNAKÇA

- Agrawal, A. ve Sinha, A. 2015 “A Structured Heuristic for the Provision of Resources in Disparate Parallel-Machines”, *International Journal of Industrial Engineering*, 2(4), 2349-9362.
- Chatuvedi, A. ve Sahu, R. 2011 “New Heuristic for Scheduling of Independent Tasks in Computational Grid”, *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 4(3).
- Pfund, M. ; Fowler, J., W. ve Gupta, J., N. 2014 “A survey of algorithms for single and multi-objective unrelated parallel-machine deterministic scheduling problems”, *Journal of the*

Chinese Institute of Industrial Engineers, Vol. 21, No. 3, pp. 230-241.

Santosa, A.; Madureira, A. ve Varela, M. 2015. “An ordered heuristic for the allocation of resources in unrelated parallel-machines”, *International Journal of Industrial Engineering Computations* 6 (2015) 145–156.

Sivasankaran, P.; Sornakumar, T. and Panneerselvam, R. 2010. “Efficient heuristic to minimize makespan in single machine scheduling problem with unrelated parallel machines”, *Intelligent Information Management*, 2010, 2, 188-198

Depo Süreçlerinin İyileştirilmesi ve Bir Depo Yönetim Sistem Önerisi

Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş

Proje Ekibi

Ceyhan Ceylan
Ful Aytuğ
Mert Aracı,
Temmuz Güner

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanları

İlker PARLAK
Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş Planlama Ekip Lideri

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ömer ÖZTÜRKOĞLU, Araş. Gör. Bahar TAŞAR

ÖZET

Depolar, malzeme tedarikinden ürün sevkiyatına kadar olan faaliyetler dizisinin sürekli olarak gerçekleştirilmesinde önemli rol oynarlar. Dolayısıyla depo, satıcı ve alıcı arasındaki önemli bir bağlantıdır. Deponun etkin ve verimli yönetimi, diğer bir deyişle, malın depolanması ve dağıtılması işleminin en kısa sürede ve en az hatayla yapılmasıdır. Bundan yola çıkarak, bu çalışmada Pınar Et'in Kemalpaşa fabrikasında yardımcı malzeme ve soğuk hava depolarının etkin kullanılmasını ve yönetimini kolaylaştırılacak bir karar destek sistemi (KDS) gerçekleştirmiştir. KDS sistemine göre malzemelerin yerleri, son kullanma tarihleri, hangi ürün grubuna ait olduğu rahatlıkla çalışanlar tarafından tespit edilebilecek.

Anahtar Kelimeler: Deponun etkin ve verimli yönetimi, KDS

1. Genel Sistem Analizi

Yaşar Holding bünyesinde 20 şirket, 19 fabrika ve tesis, 7000'in üzerinde çalışanı barındırmaktadır. 200 bini aşkın satış noktası işe Türkiye'nin lider ekonomik aktörlerinden birisidir. Kemalpaşa'da kurulan Pınar Et 940 çalışanı ile 14 çeşit ürün üretmektedir. Pınar Et Dünya ve AB standartlarına uygun ilk entegre et tesisidir ve ürettikleri ürünlerin 13 tanesi iç pazara, 1 tanesi ise dış pazara sunmaktadır. İşlenmiş et kategorisinde satışları segment bazında dağılımı %31 sucuk, %46 salam, %23 sosis olup, son zamanlarda girdikleri mantı ve börek pazarında ise pazar payı sırasıyla %15'e, börekte %24'e yükselmiştir. Pınar Et işlenmiş et pazarında lider bir firma olup Türkiye'de her 100 haneden 88'ine Pınar Et ürünün girdiği ifade edilmektedir.

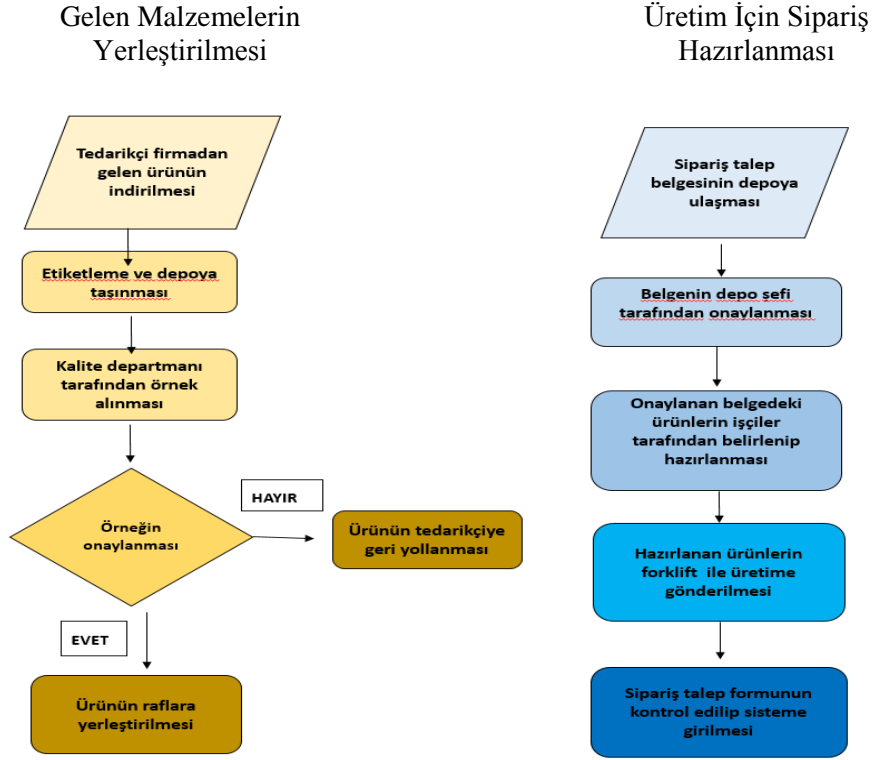
2. Problemin Belirlenmesi

2.1 Mevcut Sistemin Analizi

Pınar Et fabrikasında 4 adet soğuk hava deposu, 1 adet yardımcı malzeme deposu ve 1 adet bitmiş ürün deposu olmak üzere toplamda 3 çeşit farklı depo bulunmaktadır.

Yardımcı malzeme deposunda baharatlar, kılıflar, folyolar ve koliler olmak üzere 4 farklı malzeme grubu vardır. Şekil 5' de yardımcı malzeme deposunun düzeni belirtilmiştir. Bu dört grupta 600 ürün 800 metrekairelik bir yardımcı malzeme deposunda stoklanmaktadır. Koliler için bir istifleme alanı varken diğer ürünler sırt sırta yerleştirilmiş raflarda stoklanmaktadır.

Sistemi incelerken yardımcı malzeme deposuna gelen ürünlerin yerleştirilmesi operasyonunu ve üretim için sipariş hazırlama operasyonlarını gözlemledik. Bu operasyonlar Şekil 1'de belirtilmiştir.



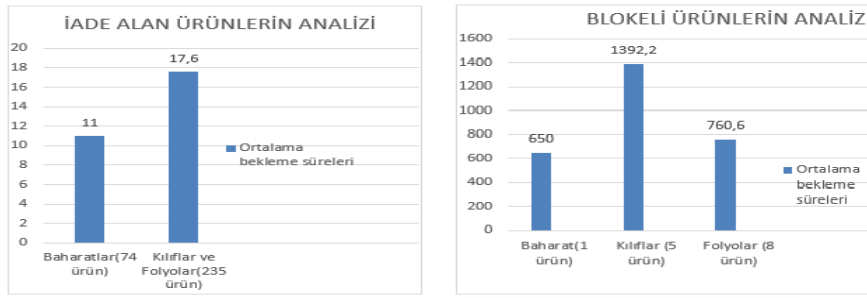
Şekil 1. Depo iş akış şeması

Yardımcı malzeme deposunda gelen ürünün yerleştirilmesi ve üretim için sipariş hazırlama sürelerini yönelik zaman etüdü çalışması gerçekleştirilmiştir. İşlemlere ait ortalama süreler detaylı bir şekilde Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Zaman etüdü sonuçları

İşlem	Ort. Süre (sn)	İşlem	Ort. Süre (sn)
Ürünü inirme	33.9	İstenilen ürünün kontrolü	16.3
Etiket yazma	15.3	Kontrol edildi kaşesi	5.7
Depoya taşıma	43.2	Kalan ve Giden Malzeme	29.9
Örnek alma	120.5	Malzemenin Taşınması	58.1
Raf alma	12.8	Sistemden düşülmesi	75.7
Ürünü yerleştirme	23.3		

Depo alanının ve rafların etkin kullanıp kullanılmadığına dair bilgi edinmek amaçlı depolama hücrelerinde bulunan ürünlerin aktif ve ya pasif olup olmadığına dair bir çalışma yapılmıştır. Şekil 2’de gösterildiği üzere, toplam 14 paletlik ürün ortalama 808 gündür hareket görmemektedir. 1 adet baharat ürünü 650 gün, 5 adet kılıf ürünü 1392 gün ve 8 adet folyo ürünü 761 gündür blokeli ürün olarak depoda bulunmaktadır.



Şekil 2. İade alan ve Bloke ürünlerin analizi

2.2 Sistemde Gözlenen Semptomlar

Takımımızın Pınar Et firması ile görüşmeleri ve depoda yaptığımız gözlemler sonucunda yardımcı malzeme deposunun etkin kullanılamamasındaki nedenler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Malzemelerin son kullanım tarihlerinin sistemde takip edilememesi yüzünden malzemelerin üretim sürecine girmeden son kullanma tarihlerinin geçmesi.
2. Tedarikçilerden gelen ürünlerin paletlerinin boyutlarının standart olmaması ve raf aralıkları ile uyuşmaması.
3. İlk giren ilk çıkar kuralının uygulanamaması.
4. Blokeli ürünlerin depoda fazladan yer işgal etmesi.
5. Koridorlarda adresleme olmadığı için malzeme ararken harcanan zaman kaybı ve ürünlerin yerlerinin sistemselsel olarak bilinmemesi.

2.3 Problem Tanımı

Pınar Et firmasında yardımcı malzeme deposu ve soğuk hava depolarında herhangi bir KDS sistemi veya başka bir yazılım programı ürünlerin izlenebilirliği için kullanılmaması ve depodaki diğer konumlama sorunları çalışanların ve yöneticilerin zorluklar yaşamasına neden olmaktadır. Ürünlerin yerleri sadece çalışanların hafızasında olduğu için ürünleri ararken zaman kaybı yaşanmakta ve ilk giren ilk çıkar kuralı depoda uygulanamamaktadır. Aynı zamanda depoda isimlendirme yoktur.

2.4 Teknik Yazın Taraması

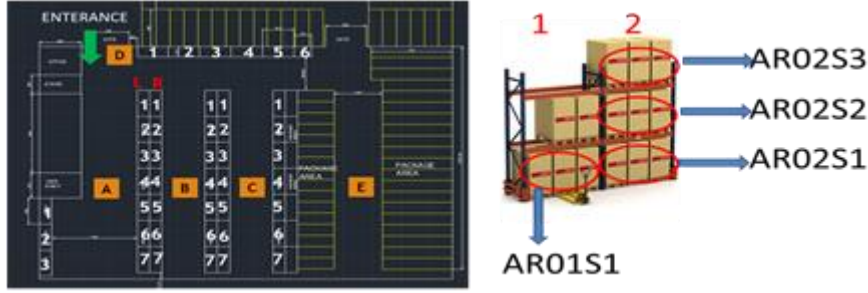
Guerriero ve diğerleri (2012) çok katlı depoda adresleme ve ürün ayırma ile birlikte sınıflar arasındaki uyum sorunlarını ele almışlardır. Amaç, hizmet düzeylerini artırarak, stok, toplam lojistik maliyetleri ve planlama süresini azaltmaktır.

Accorsi .R ve diğerleri (2012), tedarik zincirinde müşteri yanıt süresini azaltmak, lojistik maliyetlerini düşürmek ve müşteri hizmet seviyesini arttırmak için bir vaka çalışmasını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmanın amacı, tahsis ve atama sorunları ile ilgili ardışık karar adımlarını birleştirerek hiyerarşik bir prosedür göstermektir.

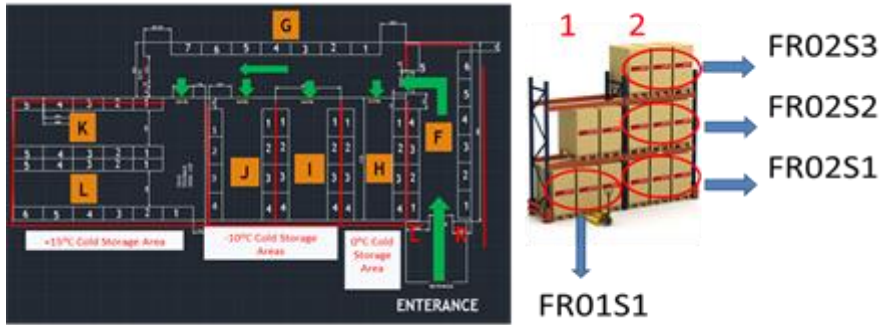
Heragu ve diğerleri (2005) depo operasyonları hakkındaki bütün işlevleri fonksiyonel olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışma matematiksel model ve sezgisel algoritma sunmuşlardır. Toplu olarak ürün tahsis fonksiyonu kurmuşlar, deponun dizaynında fonksiyonel alan büyüklüğünün belirlenmesindeki sorunları ele almışlardır.

3. Çözüm Yöntemleri

İlk olarak, gelecekte kurgulanacak depo yönetim bilişim sisteminin altyapısını oluşturmak ve hangi ürünün nereye depolandığını kaydedebilmek ve izlenebilirliği sağlamak amacıyla yeni bir adresleme sistemi oluşturulmuştur. Şekil 3 ve Şekil 4' de depolar ve adresleme sistemini içeriyor. Koridorlara A, B, C ve D harflerini atadık, koridorların sağ kolonlarını R, sol kolonlarını L olarak, kolonları baştan sona doğru 1, 2, 3, 4 şeklinde numaralandırıp, rafların katlarını S1,S2,S3 şeklinde adlandırdık. Soğuk hava deposunda da F'den başlayarak L' ye kadar koridorları isimlendirdik.



Şekil 3. Yardımcı malzeme deposunun düzeni ve adreslemesi



Şekil 4. Soğuk hava depolarının düzeni ve adreslenmesi

3.1 Formülasyon

Depoda günlük yapılan ürün yerleştirme ve sipariş toplama operasyonlarını gerçekleştirebilmek için matematiksel bir model ile hangi ürünün hangi rafa konulması ve hangi raftan alınacağı bilgisini optimal sonuçlar ile elde edilmiştir. Problemin formülasyonu belli varsayımlar altında aşağıda gösterilmiştir. Ayrıca karar değişkenleri ve parametreler de sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

3.2 Model

Varsayımlar

Bu bölümde geliştirdiğimiz modelin oluşturulmasında temel aldığımız varsayımlar şu şekilde özetlenebilir:

- Tedarikten gelen yerleşimi yapılacak ürünler ve miktarları ve palet boyutları önceden bilinmektedir
- Yerleştirme işlemi esnasında sipariş toplama işlemi yapılmamaktadır
- Lokasyon bilgileri mevcuttur boş veya dolu olan raflara göre atama yapılır
- Ürünlerin mevsimselliği veya diğer etkenler göz ardı edilmektedir
- Tedarikten gelen mallar tek bir noktadan alınmaktadır ve depoda koridorlar içinde süre kaybı olmadığı, her an trans palet ve forklifte ulaşım sağlanabildiği varsayılmıştır.

Parametreler

D = akışkan materyaller

P = akışkan olmayan materyaller

R_s = s materyalinden gelen palet sayısı

f_s = s materyalinin frekansı

h_{ijk} = i, j, k hücrenin yüksekliği

w = bir hücre genişliği

ph_{sm} = m paletinden s materyalinin paletteki yüksekliği

pw_{sm} = m paletinden s materyalinin palet genişliği

d_{ijk} = i, j, k hücresi ve I/O noktası arası uzaklık

a_{smijk} =

$$\begin{cases} 1, & \text{anlık durumda } m \text{ paletinden } s \text{ materyali } i, j, k \text{ hücresine atandıysa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$b_{st} = \begin{cases} 1, & s \text{ materyali ve } t \text{ materyali aynı rafta bulunmuyorsa} \\ 2, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Karar değişkeni

$$X_{smijk} = \begin{cases} 1, & m \text{ paletinden } s \text{ materyali } i, j, k \text{ rafına atandıysa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Matematiksel Model

$$\min \sum_s \sum_m \sum_i \sum_j \sum_k f_s \cdot X_{smijk} \cdot d_{ijk} \quad (1)$$

Öyle ki,

$$\sum_{m \in S} \sum_i \sum_j \sum_k X_{smijk} = R_s \quad \forall s \in S \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{m \in R_s} X_{smijk} \cdot pw_{sm} \leq w - \sum_{s \in S} \sum_{m \in R_s} a_{smijk} \cdot pw_{sm} \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

$$X_{smijk} \cdot ph_{sm} \leq h_{ijk} \quad \forall s \in S, m \in R_s, i, j, k \quad (4)$$

$$\sum_{m \in S} X_{smijk} \leq 1 \quad \forall s \in S, i, j, k \quad (5)$$

$$\sum_{m \in R_s} X_{smijk} + X_{tmijk} \leq b_{st} \quad \forall s \neq t \in S, i, j, k \quad (6)$$

$$\sum_{m \in R_f} \sum_{k \neq 1} X_{smijk} = 0 \quad \forall s \in R_f \quad (7)$$

Denklem 1, amaç fonksiyonu yerleştirme operasyonu için toplam ağırlıklı uzaklığı minimuma indirir. 2. denklem tedarikten gelen tüm paletlerin atanmasını sağlar. 3 ve 4. denklemler kapasite kısıtları, paletlerin yerlerinin en ve boylarına göre raflara sığacakları şekilde

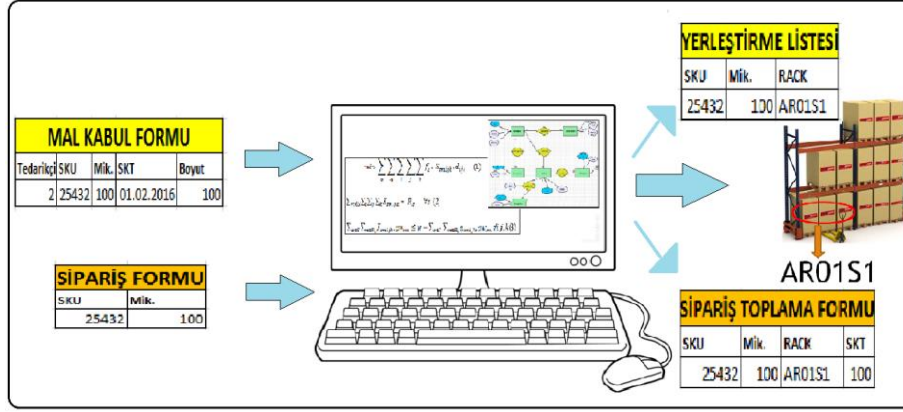
atanmasını sağlar. 3. denklem en kısıtıdır yeni koyulacak olan materyalin rafta kalan boş alanın enini aşmamasını sağlar. 4. kısıtta ise palettteki yüksekliğin raf yüksekliğini aşmamasını sağlar. Denklem 5 bir depo hücrelerinde bir SKU'dan birden fazla varsa SKU yoğunluğunu artırmak için birim alanda depolanan SKU yoğunluğunu artırmak gerekir. Yoğunluğun artması birim alanda yapılan işlem sayısını artıracığından çalışanların daha kısa sürede daha fazla ürün elleçlemesine imkân sağlar bu sebeple çeşitliliği artırmak için her bir rafta aynı çeşit SKU' dan yalnızca bir palet bulunur. Denklem 6'da yan yana konmaları uygun olmadıkları belirlenen ürünlerin aynı rafta bulunmaması sağlanır. 7. denklem akışkan materyallerin raf sistemlerinde daima alt katlarda bulunmasını sağlar böylece sızıntılara karşı önlem alınmış ve diğer materyallerden ayrılmış olurlar.

3.3 Çözüm Metodolojisi

Büyük problemlerde çözücü kullanarak optimal sonuçları kabul edilebilir süreler içerisinde elde edemediğimiz için sezgisel yöntemlere başvurduk. Kendi problemimize özgü sezgiseli şu şekilde geliştirdik:

Mevcut durumdaki verileri, raf ebatları, dolu olan raflar, ürünlerin açıklaması, ürün kodları, özellikleri, dönüşüm hızları tedarikçiler ve rafların üretime olan uzaklıkları gibi bilgileri veri depomuzda tuttuk. Depoya gün içerisinde gelen mal kabul formları ve sipariş formları vardır. Bu formlarda yerleşecek veya toplanacak olan materyaller bulunur. Normalde bu materyaller ve boş yerler kişiler tarafından aranacak olmasına rağmen Şekil 5'de gösterildiği gibi bu veri tabanında, kullanıcı ara yüzlerine çalışanın girmiş olduğu tedarikçi, palet ebadı, ürün yüksekliği ve ürün kullanım sıklığına bakılarak ve üretime yakınlığı göz önüne alınarak ürünler raflara yerleştirilir. Sipariş geldiğinde ise yine

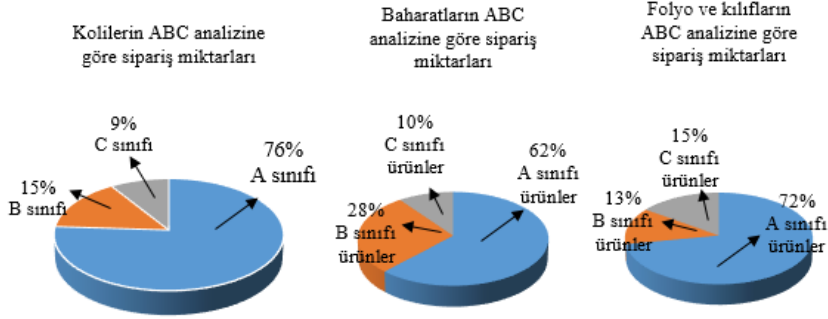
girilen bilgiler ışığında son kullanma tarihlerine göre belirlenen yerlerden siparişler toplanır.



Şekil 5. Çözüm metodolojisi

4. Sayısal sonuçlar

Yardımcı malzeme deposunun baharat bölümündeki malzemelerin sipariş sıklıklarını ve miktarlarını yüzdelerden hesaplandı ve Şekil 6'da görüldüğü üzere ABC analizinde incelendi. Bu hesaplamalara göre 8. ürün sipariş miktarının 62% kısmını içerdiği için baharat koridorunun üretime daha yakın raflarına yerleştirilmesi önerilmiştir. Baharat koridorunda 43 sıra raf bulunmaktadır ve 43 sıranın 62% lik kısmına (26sıra) A sınıfındaki ürünler yerleştirilmelidir. 28% lik kısım olan B sınıfındaki ürünlere de (12 sıra) ayrılmalıdır. En az sipariş alan C kısmı ise 4 sraya yerleştirilmedi. Şekil 8' de gösterildiği gibi baharat koridorunda A, B ve C sınıfı ürünlerin depoda hangi lokasyonlara yerleştirilmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 6. Baharat ve folyo, kılıf, kolilerin ABC analizine göre yüzdelik değerleri

5. Sonuç ve Öneriler

Depoda gerçek veriler kullanılarak ürünlerin lokasyonunun belirlenmesi, son kullanım tarihleri ve ilk giren ilk çıkar sistemini KDS sistemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm ürünlerin lokasyonu sistemde kayıtlı olacağından üretimden sipariş geldiğinde çalışanın işlem süresi kısıltacaktır. Depoya malzeme geldiğinde ise çalışanlar sistemde ürünlerin yerlerini önceden bildiği için lokasyon aramakla vakit kaybetmeyeceklerdir. Kolileme alanında da adresleme sistemini uygulayarak, buradaki işlem sürelerini minimuma indirmeyi ve o alandan maksimum verim alacak şekilde kolilerin yerleştirilmesini amaçladık. Bu sistem fabrikaya ilerisi için iyi bir yönlendirici araç olacaktır. Öte yandan firmanın, ileride yardımcı malzeme ve soğuk hava depolarına yatırım yapmasına karar vermesi ve daha iyi işleyen bir depo yönetim sistemini gerçekleştirmesinde katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Riccardo M., Marco B. 2012. “A hierarchical procedure for storage allocation and assignment within an order-picking system. A case study”, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15:6, 351-364.

Heragu S. S., Mantel R. J., Schuur P. C. 2005. “Mathematical model for warehouse design and product allocation”, *International Journal of Production Research*, 43:2, 327-338.

Guerriero. F., et al. 2012. Comparing heuristics for the product allocation problem in multi-level warehouses under compatibility constraints”, *Applied Mathematical Modelling*, 39(23), 7375-7389.

Teknik Balans Firmasında Üretim Hattı Tasarımı ve Dinamik Kontrolü

Teknik Balans Makine Sanayi A.Ş

Proje Ekibi

Aslıgül Börühan

Ayşe Doğan

Ayşe Melis Gökkan

Ceren Yeni

Yazgül Yurğun

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanları

Seçkin Menteş,

Üretim ve Planlama Müdürü

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. M. Murat Fadiloğlu, Araş. Gör. Sinem Özkan

ÖZET

Projede amaç artan müşteri talebini karşılayabilmek için dört farklı balans makinası modelini üretebilecek bir hat tasarımı yapmaktır. Bu doğrultuda istasyon sayının belirlenmesi ve hattın dengelenmesi için tüm modellerin operasyonlarının, belirlenen istasyon sayısına göre atanmasını sağlayacak olan matematiksel modeller oluşturulmuştur. Öncelikle problemin çözümüne yönelik sezgisel bir yöntem geliştirilmiş ve optimizasyon programı kullanılarak matematiksel modelin çözümleri ile benzerlik gösterdiği ispatlanmıştır. Metodun gerçek hayata uygulanabilirliği simülasyon modeli oluşturularak test edilmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi sayesinde günlük optimal üretim planı elde edilerek en kısa sürede en fazla ürün üretilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Üretim Hattı, Karışık Model, Kapasite Artırımı

1. Genel Sistem Analizi

1978 yılında İzmir’de kurulan Teknik Balans Makina Sanayi A.Ş. otomotiv servis ekipmanları ve endüstriyel balans makinaları üretmektedir. Firma bünyesinde, imalat ve montaj, bilgisayar yazılımı, araştırma-geliştirme, kalite güvence, satış ve pazarlama ve ihracat olmak üzere altı adet bölüm barındırmaktadır. Şirketin genel işleyişi şu şekildedir; pazarlama uzmanı ürünlerin satışını gerçekleştirir, daha sonra bu satış şirketin sistemine düşer ve finans departmanı müşterinin meşruluğunu kontrol eder. Daha sonra talep üretim planlama departmanına gönderilir. Hazırlanan üretim planına göre üretilen ürün müşteriye gönderilir. Teknik Balans, kuruluşundan günümüze kadar, sürekli gelişip büyümekte ve ürün yelpazesini geliştirmektedir. Yakın zamanda uluslararası pazarda da faaliyet göstermeye başlayan firma, ürünlerini 35 farklı ülkeye ihracat etmektedir.

2. Problemin Belirlenmesi

Firma genelindeki problemin belirlenmesi için mevcut durumdaki sistemin analizi yapılarak semptomlar belirlenmiştir.

2.1 Mevcut Sistem Analizi

Mevcut sistemde fabrikada hiçbir üretim hattı bulunmamaktadır. Tüm işlemler birbirlerine uzak belirli bölgelerde manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Üretim planı, çalışanların tecrübelerine dayanılarak herhangi bir matematiksel yöntem kullanılmadan gerçekleştirilmektedir. Verimsiz bir şekilde oluşan üretim planından dolayı gelen müşteri taleplerini karşılamakta gecikmeler olmakta, hatta bazen karşılanamamakta bu da müşteri kayıplarına sebep olmaktadır.

2.2 Sistemde Gözlenen Semptomlar

Makinelerin ve donanımların konumu açısından tesisin düzeni zayıf tasarlanmıştır. Birbirini takip eden iki operasyon arası uzaklık

fazladır. Yerleşim planının tüm operasyonları ve ürünün akışını etkilediği düşünüldüğünde uygun yerleşim planının olması önem taşımaktadır.

Fabrikadaki çalışma alanları çok kalabalık ve düzensizdir. Dolaplar ve raflar çok dağınık olduğu için operasyonlarda kullanılacak malzemelerin aranması çok vakit kaybına sebep olmaktadır.

Yeterli malzeme taşıma ekipmanları olmadığından, çalışanlar çoğu zaman ürünleri hareket ettirmek ve taşımak için kendi kas güçlerini kullanmaktadır. Bu sorun iki önemli şekilde kendini göstermektedir. Ürünü sürüklemek hem ürünlere zarar verebilir hem de çalışanların kaslarına onarılamayacak zararlar verebilir. Bu durum hem çalışanları hem de şirketi zor duruma sokmaktadır.

Ayrıca önceki operasyonlarda işçiler tarafından yapılan hataların düzeltilmeye çalışılmasından dolayı sonraki operasyonlar gecikmektedir. Operasyonlar arası dengenin olmadığı düşünüldüğünde, bu durum bazı çalışanların boşta kalmasına ve boş zamanlarını verimsiz geçirmelerine neden olmaktadır.

2.3 Problem Tanımı

Teknik Balans artmakta olan müşteri talebini kapasite problemlerinden dolayı zamanında karşılayamamaktadır. Özellikle, fabrikada üretilen ve dört modeli olan sabit balans makineleri yüksek talebe sahiptir. Gizlilik açısından modeller Model 1, Model 2, Model 3, Model 4 şeklinde adlandırılacaktır. Bu modellerin operasyon detayları çok fazla, üretilme süreleri uzun ve süreler arasındaki varyasyon çok fazladır. Ayrıca fabrikadaki üretim alanı çok düzensiz olduğundan ve stok tutulmadığından ürünlerin siparişlerinde gecikmeler olmaktadır. Bu gecikmeler de müşteri kayıplarına neden olmaktadır. Bu problemleri çözmek amacıyla, bir üretim hattı tasarımı yapılması kararlaştırılmıştır. Bu karar doğrultusunda firmadaki işleyiş ile üretim sürecinin tam olarak anlaşılabilmesi için tedarikçiden hammaddenin gelmesiyle başlayan

üretim aşamaları teker teker analiz edilmiştir. Hattın verimli çalışması için dikkat edilmesi gereken hat dengeleme probleminde amaç; işçilerin boş zamanını azaltmak, çevrim zamanını ve iş istasyonlarını en aza indirmek, düzenli materyal akışını sağlamak, insan gücü ve makine kapasitesinin maksimum düzeyde kullanılmasını sağlamak ve üretim maliyetini düşürmektir. Hat dengeleme probleminin yanı sıra oluşan bir diğer problem ise üretim hattına giriş sırasıdır. Sıralama problemlerinde amaç; ürün geçişleri arasında süre varyasyonundan doğacak etkiyi en aza indirmek ve sıralamayı en kısa sürede en fazla ürün üretilebilecek şekilde yapmaktır.

2.4 Teknik Yazın Taraması

Montaj hatları günümüzdeki anlamıyla literatürde ilk kez 1913 yılında Ford Motor Fabrikaları'nda kullanılmıştır. Gelişen endüstri ve üretim miktarının artmasıyla beraber montaj hatlarının dengelenmesi problemi ortaya çıkmıştır. İlk çalışmalar tek ürünlü montaj hattı dengeleme problemi üzerine yoğunlaşmıştır. Tüketicilerin tercih ve beklentilerindeki değişime bağlı olarak üretilen ürünlerin çeşidinin artması ile birlikte bir ürünün değişik modellerinin veya üretim süreçleri benzerlikler gösteren farklı ürünlerin aynı montaj hatlarında üretimini sağlayabilen daha esnek üretim sistemleri de kullanılmaya başlamıştır. Böylece tek ürünlü hatların yerini karma modelli üretim hatları almış ve bu hatlarla ilgili dengeleme problemleri üzerinde çalışmalar başlamıştır. Karma model montaj hattı dengeleme problemleri ile öncelikle verilen çevrim süresinde iş istasyonu sayısının en küçüklenmesi ve daha sonra iş istasyonları arasındaki iş yükünün dengelenmesi hedeflenmiştir (Mendes vd., 2005). Bu amaçla işlerin montaj hattına yerleştirilmesi, hattın dengesi ve işlerin sıralanmasına dayalı hat dengeleme yaklaşımları geliştirilmiştir.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar ve Varsayımlar

Problemin çözümü için oluşturulan montaj hattı dengeleme matematiksel modellerinde üç temel kısıt vardır:

- Her iş tam olarak 1 istasyona atanmalıdır.
- İşlerin arasındaki öncelik ilişkileri sağlanmalıdır.
- Hiçbir istasyonun çevrim zamanı, model için belirlenen çevrim zamanını aşmamalıdır.

Modeller oluşturulurken kabul edilen varsayımlar şu şekildedir:

- Operasyonların süreleri deterministiktir.
- İlk istasyon hiçbir zaman aç kalmamaktadır, sonsuz kaynak vardır.

3.2 Matematiksel Model

Bu bölümde, kurulacak olan hattın istasyon sayısının belirlenmesi ve hattın dengelenmesi için matematiksel modeller oluşturulmuştur (Bricker ve Juang, 1993).

Parametreler:

N = Problemdaki işlerin toplam sayısı

S = Toplam istasyon sayısı

PR_k = k işinin öncülleri olan işlerin kümesi $k = 1, \dots, N$

D_k = k işinin performans süresi, $k = 1, \dots, N$

Karar Değişkenleri:

V_{ks} = 1 eğer k işi istasyonlara atandı ise; 0 aksi halde

A_s = 1 eğer s istasyonu kullanılıyor ise; 0 aksi halde

$$\text{Min } \sum_{s=1}^S A_s \quad (1)$$

$$\sum_{s=1}^S V_{ks} = 1; \forall k = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{s=1}^S s \cdot V_{ls} \leq \sum_{s=1}^S s \cdot V_{ks}; \forall k = 1, \dots, N \text{ ve } l \in PR_k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^N D_k \cdot V_{ks} \leq A_s \cdot \text{ÇevrimSüresi}; \forall s = 1, \dots, S \quad (4)$$

$$V_{ks} \in \{0,1\}; A_s \in \{0,1\} \quad (5)$$

Yukarıda gösterilen modelde Tip 1 problemi ele alınmış, çevrim süresi verilerek (1) numaralı amaç fonksiyonu ile istasyon sayısı en küçüklenmiştir. Model, ikili değişkene sahiptir ve değerleri (5) numaraları kısıtla sağlanmıştır. V_{ks} ; eğer k işi s istasyonuna atanıyorsa bir, diğer durumlarda sıfıra eşittir. Diğer değişken, A_s ; eğer s istasyonu kullanılıyorsa bir, diğer durumlarda sıfıra eşittir. Modelde üç temel kısıt vardır. İlk kısıt, (2) numaralı atama kısıtı olmak üzere her işin tam olarak bir istasyona atanması gerektiğini temsil eder. İkinci kısıt, (3) numaralı öncelik kısıtı olmak üzere işlerin arasındaki öncelik ilişkilerinin sağlanması gerektiğini belirtmektedir. Üçüncü kısıt, (4) numaralı çevrim zamanı kısıtı olmak üzere, her istasyonun toplam çevrim zamanının model için belirlenen çevrim zamanı aşamayacağını belirtir.

Parametreler:

N = Problemdaki işlerin toplam sayısı

S = Toplam istasyon sayısı

PR_k = k işinin öncülleri olan işlerin kümesi $k = 1, \dots, N$

D_k = k işinin performans süresi, $k = 1, \dots, N$

Karar Değişkenleri:

$V_{ks} = 1$ eğer k işi istasyonlara atandı ise ; 0 aksi halde

Min Çevrim Süresi (1)

$$\sum_{s=1}^S V_{ks} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{s=1}^S s \cdot V_{ls} \leq \sum_{s=1}^S s \cdot V_{ks} \quad \forall k = 1, \dots, N \text{ ve } l \in PR_k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^N D_k \cdot V_{ks} \leq \text{Çevrim Süresi} \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (4)$$

$$V_{ks} \in \{0,1\} \quad (5)$$

Yukarıda gösterilen modelde ise Tip 2 problemi ele alınmış, istasyon sayısı verilerek çevrim süresi en küçüklenmiştir. İkinci modeldeki kısıtlar ilki ile aynı prensiplere sahiptir. Sadece (1) numaralı amaç fonksiyonu ve (4) numaralı çevrim zamanı kısıtında farklılıklar

bulunmaktadır. (4) numaralı kısıtta istasyon sayısı sisteme parametre olarak verildiği için ikili değişken ile çevrim zamanı çarpılmamıştır.

3.3 Çözüm Yöntemleri

3.3.1 Sezgisel Yöntem

Üretim hattı dengeleme problemlerinin karmaşık ve çözüm uzaylarının büyük oluşu, bu tür problemlerin çözümünde sezgisel tekniklerin diğer tekniklere göre daha fazla kullanılmasına neden olmuştur. Üretim hattını kurabilmek için hem istasyon sayısını, hem de kullanılacak dört farklı ürün için çevrim zamanını tespit etmek amacıyla iki aşamalı sezgisel metot kullanılmıştır.

Birinci Aşama: İstasyon sayısını belirlemek amacıyla fabrika ile yapılan çeşitli görüşmeler sonucunda, sipariş miktarlarına bağlı olarak en hızlı ürün olan Model 1'den günde 14 adet üretilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Fabrikada çalışma süresi sekiz saattir. Ayrıca, iki mola ve öğle yemeğinin toplamda bir saat olduğu hesaplanmıştır. Toplam çalışma süresinden bu bir saatlik kayıp çıkarılınca kullanılabilir çalışma saati yedi saat olarak bulunmuştur. Bu süre, istenen hedef olan 14'e bölününce bir ürünün üretilmesi için gereken süre yani takt zamanı $7/14= 0.5$ saat bulunmaktadır. Bu sonuca göre her 30 dakikada bir ürün üretilmelidir. İstasyon sayısı en hızlı ürün olan Model 1'e göre belirlendiğinden, yapılan zaman etütleri sonucunda, bu ürünün toplam süresi 134 dakika olarak hesaplanmış ve 30 dakikaya bölündükten sonra istasyon sayısı beş olarak bulunmuştur.

İkinci Aşama: İstasyon sayısı belirlendikten sonra, hattaki diğer ürünler için de çevrim zamanı hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken bütün ürünler için toplam üretim süresi, istasyon sayısı olan beşe bölünmüştür. Daha sonra her ürün için operasyonların istasyonlara atanması aşamasına geçilmiştir (Das vd., 2013). Bunu yapabilmek için Kilbridge–Wester Algoritması kullanılmıştır (Kilbridge ve Wester,

1961). Bu algoritmaya göre, yapılan bütün işler öncelik sıraları göz önüne alınarak düzenlenmiş ve her istasyon çevrim zamanına ulaşana kadar atamalar yapılmıştır. İşlerin süresi çevrim zamanını aştığında diğer istasyona geçilmiştir. Ayrıca, tüm bu atamalar yapılırken, işler ön tarafta ve arka tarafta yapılabilecek işler olmak üzere gruplandırılmış ve çalışanlar ona göre hatta konumlandırılmıştır.

3.3.2 Matematiksel Programlama Yöntemi

Kullanılan sezgisel yöntemi doğrulamak ve optimal bir sonuca ulaşabilmek için LINGO optimizasyon programı kullanılmıştır. 3.2 Matematiksel Model kısmında belirlenen modellere göre, kısıtlar LINGO optimizasyon diline uygun yazılmış ve program çalıştırılmıştır. Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip 1 için istasyon sayısı en küçüklenmiş ve sonucun kullanılan sezgisel yöntemle aynı olduğu gözlemlenmiştir. Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip 2 için ise çevrim zamanı en küçüklenmiş ve her model için optimal çevrim zamanları bulunmuştur. Bulunan optimal sonuçlar kullanılan sezgisel yöntem ile oldukça benzerdir.

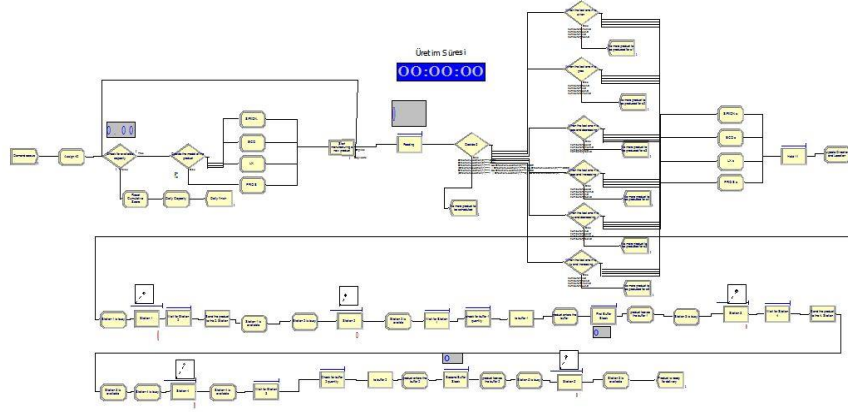
4. Sayısal Sonuçlar

LINGO optimizasyon programı kullanılarak elde edilen veriler şu şekildedir: Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip 1 için istasyon sayısı en küçüklenmiş olup istasyon sayısı beş bulunmuştur. Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip 2 için çevrim zamanı en küçüklenmiş ve Model 1 için 23,75 dakika, Model 2 için 25,95 dakika, Model 3 için 28,85 dakika ve son olarak en uzun süreli ürün olan Model 4 için 43,7 dakika bulunmuştur. Bulunan optimal sonuçlar kullanılan sezgisel yöntem ile oldukça benzerdir.

4.1 Doğrulama, Geçerleme ve Duyarlılık Analizi

Bulunan çözüm metodunun gerçek hayata uygulanabilirliğini kontrol etmek ve doğrulamak için Arena Simülasyon Programı

kullanılmıştır. Taleplerin önceden kesin olarak bilinmediği için stokastik olarak ele alınmıştır. Taleplerin ürün modellerine göre dağılımları geçen yılın üretim adetleri temel alınarak oluşturulmuştur. Üretim planının nasıl yapılacağı, hangi modelin hatta hangi sırada gireceği hususunda ise farklı çizelgeleme yöntemleri denenerek varyasyonun etkisini en aza indirecek ve çalışanların kapasitelerini en iyi şekilde kullanacak biçimde tasarlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Arena Simülasyon Modeli

Simülasyon modeli, başlangıçta hattın boş ve pasif durumda olmasının etkisini azaltmak için uzun süreli, 100 gün boyunca, çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda üretilen ürün sayısı 1411 olarak gözlenmiştir. Bu sonuç, günde ortalama 14 tane üretim adedi hedefine ulaşıldığını göstermektedir. Ara stokta bekleyen ortalama ürün sayısına baktığımızda, tutulan yarı mamul sayısının varyasyon etkisini gidermekte başarılı olduğu açıkça görülmektedir. Başka önemli bir husus olan işçi kapasitesi kullanımına bakıldığında ise tüm istasyonlar için %90'ın üzerinde kullanım gözlenmiştir ve bu sonuç, üretim hattının etkin ve verimli bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

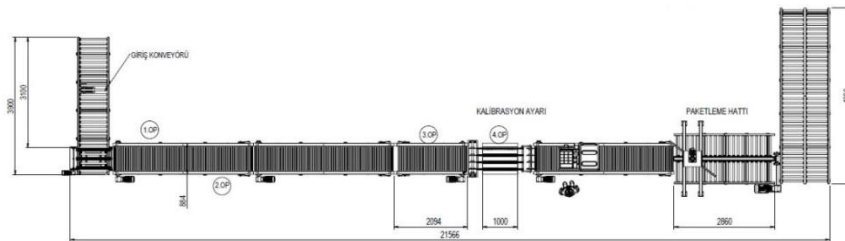
4.2 Karşılaştırma ve Uygulama: İyileştirme ve Karar Destek Sistemi

Mevcut sistemde günlük üretim kapasitesi, ortalama 7 tane Model 1 üretebilecek şekildedir. Kurulacak olan yeni sistem ise, geliştirilen çözüm metodu ve yapılan iyileştirmeler sayesinde ortalama 15 tane Model 1 üretebilecek kapasiteye sahip olacaktır. Bu sayı simülasyon modeli ile gerçekleştirilmiştir. Bu sayede iş zamanı ve işçi maliyetleri açısından büyük bir karlılık söz konusudur.

Fabrikadaki yeni yerleşim planı sayesinde ürün akışı daha verimli olacak şekilde düzenlenmiş ve bu akış esnasındaki taşıma süresi azaltılmıştır.

Fabrikanın ihtiyaçlarına ve üretime uygun olarak Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmiştir. KDS'nin ana amacı en iyi günlük üretim planını oluşturmakla beraber gün başında girilecek taleplere ve o gün çalışacak işçi sayısına göre üretim sırası ve her istasyonda, her model için yapılacak operasyonları göstermektir. Ayrıca girilen verilere göre tahmin edilen üretim süresini hesaplayacaktır. Oluşturulan hata ve çözüm öneri formu sayesinde yapılan hataların analizleri için gerekli veriler toplanacaktır. Gerekli olan esnekliği sisteme vermek amacıyla hatta üretilmek üzere yeni model ekleme ve/veya çıkarma, yapılan iyileştirmeler sonucunda süresi ve/veya tanımı değişen operasyonları düzenleme seçenekleri bulunacaktır.

5. Hat Tasarımı



Şekil 2. Sabit Balans Makinası Üretim Hattı

Elde edilen verilere ve bulunan sonuçlara göre tasarlanan üretim hattı Şekil 2’de görüldüğü gibidir. Üretim hattında beş işçi bulunmaktadır ve her işçiye bir istasyon atanmıştır. Böylece, hatta beş istasyon ve iki ürün kapasiteli iki adet ara stok bulunmaktadır. Tasarım yapıldıktan sonra fabrikaya sunulmuş ve firma tarafından onaylanmıştır. Onaylanan hattın üzerindeki mekanik ve otomasyon çalışmaları fabrika ile birlikte yürütülmektedir. Giriş mekanizması rulolardan oluşacak şekilde asansörlü sistem olarak tasarlanıp, geri kalan modüller sac tava olacaktır. Paketleme istasyonu olan beşinci istasyonun işlevinden ve uzunluğundan dolayı, yine rulolu bir sistem yapılacaktır. Hattın hızı, hat hareket ederken ürünün düşmesini engellemek amacıyla, 0,2 m/sn olarak belirlenmiştir. Hattın genişliği, ürünlerin genişliğine göre belirlenmiş olup 85 cm’dir. Hattın yüksekliği ise, işçilerin rahat koşullar altında çalışabilmeleri için ergonomiye uygun olarak 42 cm olarak hesaplanmıştır. Gerekli olacak ekstra yükseklikler için platform yapılmasına karar verilmiştir.

6. Sonuç ve Öneriler

Planlanan çözüm yöntemi ışığında hattın kurulma çalışmaları başlamıştır. Bu sayede üretilecek olan dört ürün modelinin işlem süreleri ve hattın çevrim zamanı en küçüklenmiş, üretim kapasitesi artırılarak teslimatı geciken müşteri sayısı ve karşılanamayan talep en aza indirilmiştir. Karar destek sistemi ve arkasındaki algoritma sayesinde günlük üretim planı elde edilerek en kısa sürede en fazla ürün üretilmesi sağlanmıştır. Standart iş formları yardımıyla, operasyonlar ve üretim akışı standartlaştırılarak yalın felsefeye uygun bir akış yaratılmış ve operasyon kaynaklı olası hataların önüne geçilmiştir. Sonuçta, firmanın ürün başına harcadığı maliyetleri azalmış ve sektördeki rekabet gücü artmıştır.

KAYNAKÇA

- Bricker, D.L., Juang, S.H. 1993. “A Mathematical Programming Model of the Assembly Line Balancing Problem”.
- Das S.K, Jaturanonda, C., Nanthavanij, S. 2013. “Heuristic Procedure for the Assembly Line Balancing Problem with Postural Load Smoothness”, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(4), 531–541.
- Kilbridge, M. D., Wester, L. 1961. “A Heuristic Method of Assembly Line Balancing”, *The Journal of Industrial Engineering*, 12(4), 292-298.
- Mendes, A.R., Ramos, A.L., Simaria, A.S., Vilarinho, P.M. 2005. “Combining Heuristic Procedures and Simulation Models for Balancing A PC Camera Assembly Line”, *Computers & Industrial Engineering*, 49(3), 413-431.

IENG 441 ve IENG 442 Uygulama Planı

1. Giriş

Bitirme projesi, IENG 441 ve IENG 442 olmak üzere birbirini takip eden iki dersten oluşmaktadır. Bunlar, birinci dönem sistem analizi ve genel tasarımının yapıldığı IENG 441 ve ikinci dönem sistem geliştirme ve uygulamanın bulunduğu IENG 442 dersidir. Bu iki aşamadaki tüm bölümler numaralandırılarak (B1, B2, gibi) aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1. Proje Adımları ve Haftalık Çizelge.

IENG 441, Sistem Analizi, Güz Dönemi

Bölüm	Başlık	Hafta
B1	Sistemin Genel Analizi	4-8
B2	Mikro Sistem Analizi	
B3	Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış	10-13
B4	IENG 441 ve IENG 442 için Proje Planlaması	
B5	Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu	18-21
B6	Literatür Çalışması	

IENG 442, Sistem Tasarımı, Bahar Dönemi

B7	Çözüm Metodolojisi	1-4
B8	Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması	
B9	Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması	6-10
B10	KDS'nin Doğrulama ve Geçerlemesi	
B11	Karşılaştırma	11-13
B12	Uygulama	

Her bir bölümün içinde, öğrencilerin tamamlamakla yükümlü olduğu alt aşamalar vardır. Bu aşamalar ve kesin tarihleri dersin öğretim planında belirtilmiştir.

2. İçerik

2.1. IENG 441

IENG 441 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

1. Sistemin Genel Analizi

- Firma ile ilgili genel bilgiler (yaz stajındaki ilk kısım baz alınabilir).
- Firmanın girdi ve çıktıları: ham madde, tedarik sistemi, son ürüne geçiş (üretim ve malzeme akışları kara kutu olarak modellenebilir).
- Firmanın üretim ve malzeme akış sistemi ile ilgili bilgileri (imalat süreçleri, malzeme akışları, vb.).

2. Mikro Sistem Analizi

- Problemin konusu / çerçevesinin çizilmesi.
- Sistemin tanımlanması (grafikler ve görsel materyallerle desteklenebilir).
- Gözlemler, veri toplanması.
- Veriler ışığında bulguların (semptomlar) belirlenmesi.
- Problemin tanımlanması.
- Hedefler, kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi (projenin başarılı olup olmadığını belirlemek adına tanımlanan ölçülebilir kriterler).

3. Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış

- Lisans derslerinin gözden geçirilmesi.
- Kitaplar seviyesinde literatürün incelenmesi.
- Çözüm araçlarının ortaya konulması.
- Kontrol edilebilen / edilemeyen faktörlerin belirlenmesi.
- Değişken ve parametrelerin tanımlanarak alabilecekleri değer aralıklarının belirlenmesi.
- Taslak modelin kurulması.

4. IENG 441 ve IENG 442 için Proje Planlaması

- Tanımlanan problem için çözüm yöntemlerinin önerilmesi ve uygulamanın planlanması.

- Zaman çizelgesi ve çalışma takviminin oluşturulması.
- IENG 442’de projenin başarıya ulaşmasını tehdit edebilecek belirsizliklerin sıralanması, potansiyel risklerin öngörülmesi ve analizi.
- Potansiyel risklerin bertaraf edilmesi için gereken yaklaşımların belirlenmesi.

5. Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu

- Model formülasyonunun ortaya konulması.
- Modelin çözümleme yöntemleri açısından irdelenmesi.

6. Literatür Çalışması

- Model belirlendikten sonra çözüm yöntemleri için literatürün derinlemesine araştırılması (makale seviyesinde).

2.2. IENG 442

IENG 442 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

7. Çözüm Metodolojisi

- Çözüm yönteminin belirlenmesi.
- Belirlenen yöntemin oyuncak veriler kullanılarak elle uygulanması sonucunda oturtulması / doğrulanması.

8. Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması

- Veri toplanması.
- Modele veri yüklenmesi.
- Çözüm yönteminin kodlanması ve çözüm alınması.
- Duyarlılık ve parametre analizleri.

9. Karar Destek Sistemi (KDS)

- Veri tabanının oluşturulması.
- Model tabanı ile veri tabanının konuşlandırılması.
- Kullanıcı ara yüzünün tasarlanması.
- Kullanıcıya sunulacak KDS çıktılarının derlenip raporlarının tasarlanması.

10. Doğrulama ve Geçerleme

- KDS'nin çeşitli senaryolarla doğrulanması ("verification").
- KDS'nin firma verisiyle işe yaradığının gösterilmesi, geçerleme ("validation").

11. Karşılaştırma

- Kritik başarı faktörleri baz alınarak mevcut işleyiş ile tasarlanan sistemin karşılaştırılması.
- Kritik başarı faktörleri kullanılarak yapılan iyileştirmelerin sayısal verilerle ortaya konulması.

12. Uygulama

- KDS'nin hazırlanan kullanım kılavuzu ile birlikte firmaya teslim edilmesi.
- Sistemin mümkün olduğunca hayata geçirilmesi.

3. IENG 441 / IENG 442 Takvimi

3.1. IENG 441 Takvimi

Dönem başlamadan önce

Projelerin belirlenmesi

Dersin koordinatörü ve iki öğretim elemanından oluşan proje komisyonu, tüm bölüm elemanlarının kontaklarıyla belirlenen potansiyel projeleri yerinde görüşmek üzere, firma ziyaretleri yaparlar. Bu sayede, gerçekleştirilecek bitirme projeleri belirlenir ve bu proje konuları özetlenerek belgelenir.

1. Hafta

Bölüm Kurulu toplantısı

Dersin koordinatörü dersin işlenişi, izlenecek takvim ve projeler konusunda danışman hocaları bilgilendirecek ve bunu takiben proje danışmanları belirlenecektir.

Öğrencilerle ilk buluşma

IENG 441 ile ilgili öğrencilerle yapılan bu ilk toplantıda dersin işleyişi, kuralları ve bölüm kurulu tarafından belirlenen grup oluşturma kriterleri hakkında öğrencilere bilgi verilecek, projeler öğrencilere tanıtılacaktır. Bu toplantıda öğrencilere proje danışmanlarının kim olduğuna dair bilgi verilmeyecektir.

2. Hafta

Grup oluşturma

Bölüm kurulu tarafından belirlenen kişi sayısı ve grup not ortalamalarına uygun bir şekilde öğrenciler tarafından oluşturulan gruplar, bilgilerini EK-1'deki "A01-Group Formation Form"u doldurarak dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir.

Grupların belirlenmesi

Grubu olmayan öğrenciler mevcut gruplara atanacak ya da bu öğrencilerden yeni gruplar oluşturulacaktır. Kriterlere uygun olmadığı belirlenen gruplar yeniden düzenlenecek ve grupların son hali dersin lectures sayfasında ilan edilecektir.

Grupların proje tercihlerini bildirmesi

Gruplar proje tercihlerini EK-2'deki "A02-Project Preference Form"u doldurarak dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir. Öğrencilerin tercih yaparken tüm projeleri sıralamaları zorunludur.

Grupların projelere atanması

Tercihlerin girdi olarak alındığı bir eşleştirme algoritması uygulanarak gruplar projelere atanacaktır. Algoritma her grubun mümkün olduğu kadar en yüksek tercihi atanmasını sağlamaya çalışırken; şirketlerin tercihlerini de dikkate alacaktır. Bunun sonucunda ortaya çıkan grup-proje-danışman eşleşmeleri dersin lectures sayfasında ilan edilecektir.

3. Hafta

Grupların danışmanlarıyla ve firmalarıyla temasa geçmeleri

Gruplar danışmanlarıyla temasa geçerek haftalık düzenli buluşma saatlerini belirleyeceklerdir. Yine aynı şekilde firmalarla haftalık düzenli buluşma günlerini (ortalama 2 yarım gün) belirleyeceklerdir. Danışmanların ayda en az bir kez bir yarım gün işletmede bulunması beklenmektedir. Ayrıca, firmalar ile gizlilik sözleşmeleri imzalanarak dersin koordinatörüne teslim edilecektir (bkz. *EK-3: A03-Gizlilik Sözleşmesi*).

4 ve 8. Haftalar arası

Bölüm 1 ve 2 çalışmaları

4 ve 8. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 1. ve 2. bölümleri tamamlamaları ve bununla ilgili İngilizce bir sunum hazırlamaları istenmektedir. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından EK-4'deki "A04-IENG 441 Oral Presentation Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecektir.

9. Hafta

Bölüm 1 ve 2 sunumları taslak çalışması

Gruplar, hazırladıkları sunum taslağını danışmanlarıyla gözden geçirip, danışmanlarından aldıkları geri bildirimle sunumlarına son hallerini vereceklerdir. Bu sunumda gruplar projelerinde 1. ve 2. bölümler ile ilgili yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır.

Bölüm 1 ve 2 sunumları

Bu sunumda gruplar projelerinde 1. ve 2. bölümler ile ilgili yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Sunumlara tüm grupların ve

akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili İngilizce olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturma başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

10 ve 13. Haftalar arası

Bölüm 3, 4 ve 5 çalışması

10. ve 13. haftalar arasında tüm grupların 3, 4 ve 5. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir. 1. bölümden 5. bölüme kadar yapılan çalışmalar raporlanacaktır.

14. Hafta

Proje alanı ile ilgili ders bilgisinin ölçülmesi

14. haftada tüm grupların proje konusuyla ilgili birikimlerini ölçecek biçimde proje danışmanları tarafından değerlendirilecek yazılı (klasik tip) bir sınav ile proje öğrencilerinin alan bilgileri sınanacaktır.

15. Hafta

Poster taslak çalışması

Gruplar, IENG 441 kapsamında sunacakları posterlerini EK-5'deki "A05-Poster Format" a uyacak şekilde hazırlayacaklardır. Posterin dili İngilizce olacaktır. Bu posterlerde gruplar, projeleri kapsamında (1. Bölüm - 5. bölüm dahil) yapmış oldukları çalışmaları yansıttacaklardır. Grupların sunum günü öncesinde poster taslaklarını danışmanları ile paylaşıp geri bildirim almaları zorunludur. Gruplar, hazırladıkları posterleri dersin öğretim planında belirtilen son tarihe kadar dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir.

İlk rapor teslimi

Gruplar, 1.- 5. bölümlerde yaptıkları çalışmalarını içeren ve EK-6 "A06-English Report Template" dosyasından yararlanarak hazırladıkları İngilizce raporlarının teslimini yapacaklardır. Raporun tek kopya halinde öğretim planında belirtilen son tarihe kadar Sekreterliğe teslim edilmesi gerekmektedir. Gecikme durumlarında ceza uygulanır. Raporlar danışmanlar tarafından EK-7'deki "A07-IENG 441 Report Draft Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecektir.

Poster sunumları

Gruplar, IENG 441 kapsamındaki posterlerini sunum alanında belirlenen zaman aralığından itibaren sergileyeceklerdir. Grup üyeleri posterlerinin önünde bölüm akademik kadrosunun sorularına yanıt verecek ve projelerini anlatacaklardır. Poster sunumlarına EK-8'deki "A08-IENG 441 Poster Presentation Evaluation Form" kullanılarak not verilecektir. Bu sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur.

16. Hafta

Rapor geri bildirimi

IENG 441 taslak raporları grupların danışmanları tarafından değerlendirilip gruplara geri verilecektir. Danışmanlar bu tarihte EK-7'deki "A07-IENG 441 Report Draft Evaluation Form"u kullanarak yaptıkları değerlendirmeleri dersin koordinatörüne teslim edecektir.

17. Hafta

Son rapor teslimi

Grupların son hali verilmiş raporlarını, üzerinde danışman düzeltmelerinin bulunduğu taslak raporla beraber, tek kopya olarak öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir. Raporlar, EK-6'daki "A06-English Report Template" formatında olmalıdır ayrıca son raporun ekleriyle birlikte elektronik versiyonu (.doc) ve posterin (.pdf) formatındaki dosyası (5 MB'i aşmayacak şekilde formatlanmış) dersin lectures sayfasına yüklenmelidir (öğretim planında belirtilen son tarihte sistem otomatik olarak kapanacaktır).

18. Hafta

IENG 441 –Not teslimi

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-9'daki "A09-IENG 441 Final Report Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecek ve ders koordinatörüne teslim edilecektir. Bölüm kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

18 ve 21. Haftalar arası

6. Bölüm çalışması

Dönem arası ayrıntılı (makale bazında) literatür araştırmasına ayrılmıştır. Bu dönemde grupların bu çalışmayı tamamlaması beklenmektedir. Dönem arasında firma ziyaretleri planlandığı gibi devam etmelidir.

3.2. IENG 442 Takvimi

1 ve 4. Haftalar arası

Bölüm 7 ve 8 çalışması

1 ve 5. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 7. ve 8. bölümleri tamamlamaları ve bununla ilgili İngilizce bir sunum hazırlamaları istenmektedir. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından EK-10'daki "A10-IENG 442 Oral Presentation Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecektir.

5. Hafta

Ara sunum taslak çalışması

Gruplar, hazırladıkları sunum taslağını danışmanlarıyla gözden geçirip, danışmanlarından aldıkları geri bildirimle sunumlarına son hallerini vereceklerdir. Bu sunumda gruplar projelerinde birinci dönemin özeti ve ağırlıklı olarak 6, 7 ve 8. bölümler ile ilgili yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır.

Ara sunumlar

Bu sunumda gruplar projelerinde o güne kadar yapmış oldukları tüm çalışmaları anlatacaklardır. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili İngilizce olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturum başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

6 ve 10. Haftalar arası

Bölüm 9 ve 10 çalışması

9 ve 12. haftalar arasında tüm grupların 9 ve 10. bölümleri tamamlamaları beklenmektedir. Bu dönemde 12. bölüm için de bir plan hazırlanacaktır.

11 ve 13. Haftalar arası

Bölüm 11-12 çalışması ve Türkçe rapor teslimi

11 ve 13. haftalar arasında grupların geliştirdikleri sistemleri işletmelerde uygulamaya başlatmaları ve projeyi tamamlamaları beklenmektedir. Tüm grupların 11. Bölüm çalışmasını tamamladıktan sonra EK-11'deki "A11-Türkçe Rapor Formatı"na uygun bir şekilde hazırladıkları Türkçe

raporlarını (en fazla 12 sayfa) öğretim planında belirtilen son tarihe kadar tek kopya olarak sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir.

Gruplar, danışmanlarından 12. Hafta içinde geri bildirim alacaklardır. Danışmanlar öğretim planında belirtilen son tarihe kadar EK-12 “A12-Türkçe Taslak Rapor Değerlendirme Formu”nu kullanarak yaptıkları değerlendirmeleri dersin koordinatörüne teslim edecektir.

Gruplar Türkçe raporun son halini, üzerinde danışman düzeltmelerinin yer aldığı taslak raporla birlikte, öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim edecektir. Ayrıca, Türkçe raporun son halini dersin lectures sayfasına öğretim planında belirtilen son tarihe kadar yüklemeleri gerekmektedir. Danışmanlar Türkçe raporu EK-13’deki “A13-Türkçe Rapor Değerlendirme Formu”nu kullanarak değerlendirecek ve verdikleri notları dersin koordinatörüne teslim edecektir. Ayrıca bu raporlar proje yarışması kapsamında jüri üyeleri tarafından değerlendirmeye alınacak ve derlenerek kitap olarak basılacaktır.

İngilizce rapor taslağı teslimi

Grupların, EK-6’daki “A06-English Report Template”e uygun şekilde hazırladıkları tek kopya İngilizce rapor taslaklarını (en fazla 25 sayfa, ekler hariç) öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmesi gerekmektedir. Gecikme durumlarında ceza uygulanır. Raporlar danışmanlar tarafından EK-14 “IENG 442 Report Draft Evaluation Form” kullanılarak değerlendirilecektir.

14. Hafta

Poster taslak çalışması

Gruplar, IENG 442 kapsamında sunacakları posterlerini EK-5’deki “A05-Poster Format” a uyacak şekilde hazırlayacaklardır. Posterin dili İngilizce olacaktır. Bu posterlerde gruplar, projeleri kapsamında yapmış oldukları tüm çalışmalarını yansıtacaklardır. Grupların sunum günü öncesinde poster taslaklarını danışmanları ile paylaşıp geri bildirim almaları zorunludur. Gruplar, hazırladıkları posterleri dersin öğretim planında belirtilen son tarihe kadar dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir.

Ayrıca, gruplar Proje Fuarı’nda sunulmak üzere aynı posterin Türkçe versiyonunu da hazırlayacaklardır.

Rapor geri bildirimi

IENG 442 taslak raporları grupların danışmanları tarafından değerlendirilip gruplara geri verilecektir. Danışmanlar bu tarihte EK-14 “A14-IENG 442 Report Draft Evaluation Form” u kullanarak yaptıkları değerlendirmeleri dersin koordinatörüne teslim edecektir.

Proje alanı ile ilgili ders bilgisinin ölçülmesi ve IENG 442 Çıkış Anketi

14. haftada tüm grupların proje konusuyla ilgili birikimlerini ölçecek biçimde proje danışmanları tarafından değerlendirilecek yazılı (klasik tip) bir sınav ile proje öğrencilerinin alan bilgileri sınanacaktır. Sınav öncesinde öğrencilerin IENG 442 (çıkış) anketini doldurmaları gerekmektedir.

İngilizce poster sunumu

Gruplar, IENG 442 kapsamındaki posterlerini sunum alanında belirlenen zaman aralığından itibaren sergileyeceklerdir. Grup üyeleri posterlerinin önünde bölüm akademik kadrosunun sorularına yanıt verecek ve projelerini anlatacaklardır. Poster sunumlarına EK-15’deki “A15-IENG 442 Poster Presentation Evaluation Form” kullanılarak not verilecektir. Bu sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur.

15. Hafta

Son İngilizce rapor ve değerlendirme formları teslimi

Grupların son hali verilmiş raporlarını, üzerinde danışman düzeltmelerinin bulunduğu taslak raporla beraber, tek kopya olarak öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir. Raporlar, EK-6’daki “A06-English Report Template” formatında olmalıdır ayrıca son raporun ekleriyle birlikte elektronik versiyonu (.doc) ve posterin pdf formatındaki dosyası (5 MB’i aşmayacak şekilde formatlanmış) dersin lectures sayfasına yüklenmelidir (öğretim planında belirtilen son tarihten sonra sistem kapanacaktır).

Bunun yanında tüm grup üyeleri birbirlerini EK-16’de verilen “A16-Peer-evaluation Form”u kullanarak değerlendirmeli ve bu formları ayrı ayrı kapalı zarflarda son raporla birlikte sekreterliğe teslim etmelidir.

Ayrıca grup ve danışmanların firmayı değerlendirdiği EK-17’deki “A17-Company Evaluation Survey” ve firmanın projeyi değerlendirdiği EK-18’deki “A18-Project Evaluation Survey” anketleri de son raporla birlikte kapalı zarflarda sekreterliğe teslim edilmelidir.

Karar Destek Sistemi ve kullanım kılavuzunun teslimi

IENG 441-442 çerçevesinde iki dönem boyunca çalışılan projelerin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için, geliştirilen Karar Destek Sistemleri'nin kullanım kılavuzları ile birlikte firmalara teslim edilmesi önem arz etmektedir. Gruplar, geliştirdikleri Karar Destek Sistemi'ni hazırladıkları kullanım kılavuzu ile birlikte proje yaptıkları firmalara teslim edeceklerdir. Ayrıca, hazırlanan kullanım kılavuzları ve beraberinde bir CD'yle Karar Destek Sistemleri öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim edilecektir. Kullanım kılavuzu dili Türkçe olacaktır.

Proje fuar sunumu taslak çalışması

Gruplar, IENG 442 kapsamında yapacakları Türkçe final sunumunun taslağını danışmalarıyla gözden geçirip, danışmanlarından aldıkları geri bildirimle sunumlarına son hallerini vereceklerdir. Bu sunumda gruplar projelerinin bütününde yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Bunun yanında her grup projeleriyle ilgili 2 dakikayı geçmeyen bir *sunum videosu* hazırlayarak öğretim planında belirtilen tarihe kadar dersin lectures sayfasına yükleyecektir. Ayrıca, gruplar Proje Fuarı'nda sunulmak üzere daha önce hazırlamış oldukları İngilizce posterin Türkçe versiyonunu da hazırlayacaklardır.

Proje Fuarı

IENG 442 kapsamında yapacakları final sunumunda gruplar projelerinin bütününde yapmış oldukları çalışmaları işletme temsilcileri ve diğer davetliler önünde anlatacaklardır. Sunumların, oturum başlamadan önce, sunum bilgisayarına yüklenmiş olması gerekmektedir. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili Türkçe olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturum başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

Buna ek olarak, sunumlar başlamadan önce poster alanında Proje Fuarı için hazırlanmış Türkçe posterler sergilenmek üzere asılacak ve sunumlar sonrası tüm proje ekibi posterlerinin başında, kişisel bilgisayarlarında açık bulunan Karar Destek Sistemlerini tanıtmak ve poster üzerinden davetlilerin sorularını yanıtlamak üzere hazır bulunacaklardır. Fuarın sonunda, rapor ve sunumlar değerlendirilerek en başarılı gruplar

seçilecektir. Projeler, önceden belirlenmiş jüri üyeleri tarafından EK-19'daki "A19-Jüri Değerlendirme Formu"na göre değerlendirilecektir.

16. Hafta

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları final döneminin ikinci haftasında yapılacaktır.

Bölüm Kurulu toplantısı

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-20'deki "A20-IENG 442 Final Report Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecek ve ders koordinatörüne teslim edilecektir. Bölüm Kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

4. Diğer hususlar

4.1. Değerlendirme

Dönem harf notu bölüm kurulunca belirlenecektir. Proje grupları notlandırılırken her bir öğrenciye ayrı not verilebilir. Gruplar değerlendirilirken altı ölçüt göz önünde bulundurulacaktır. Bu altı ölçüt, aşağıdaki tabloda belirtilmiştir:

Tablo 2. Notlandırma Kriterleri.

Kriter	Ağırlık Yüzdesi
İngilizce sunum (sunumlar kameraya alınacaktır)	%20
İngilizce Poster Sunumu	%30
Rapor	%30
Danışman değerlendirmesi	%5
Final sınavı	%10
Grup üyelerinin birbirine verdiği notlar	%5

Grubun ortalama harf notu, TÜBİTAK Proje Yarışması veya TÜBİTAK Desteği, YAEM Öğrenci Proje Yarışması, Bölüm Proje Fuarı, TMMOB Yarışması gibi saygın platformlarda grubun başarı kazanması halinde bir barem yukarı yükseltilebilir. Bölüm kurulu tarafından kararlaştırılan nihai notlar öğrenci bilgi sistemine dersin grup danışmanları tarafından girilecektir.

4.2. Buluşma Saatleri

Grupların danışmanlarıyla düzenli olarak haftada en az bir kez görüşmesi beklenmektedir. Grupların firma ziyaretlerine düzenli olarak haftada 2 yarım gün ayırmaları öngörülmektedir.

4.3. Devamlılık

Haftalık buluşmalarda devam (kişi bazında) zorunludur ve derse %80 devamlılık aranmaktadır. Devamsız öğrenciler R notu ile değerlendirilecektir. Öğrencilerin devam durumu ve katılımı danışman değerlendirmesini doğrudan etkileyecektir.

Not: Uygulama planında geçen tüm dökümanlar, planın “Ekler” kısmında listelenmiştir ve elektronik halleri dersin lectures sayfasında bulunmaktadır.

PROJE EKİPLERİ

**Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi için Üretim Planı
Geliştirilmesi,**
Celka Boru Mil San. Ve Tic. A.Ş

Akademik Danışmanlar

Yrd. Doç. Dr. Erdinç Öner (erdinc.oner@yasar.edu.tr)
Damla Kızılay (damla.kizilay@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Ceyhun Cengiz
Kadir Çetin
Fatma Özge Gürel
Melis Saltabaş

**Yalın Muhasebe Temellerine Dayanan, Regresyon Analiz
Tabanlı Maliyet Öngörme Modeli,**
CMS Jant Sanayi A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Dr. Efthimia N. Staiou (effi.staiou@yasar.edu.tr)
Sel Özcan Tatari (sel.ozcan@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Begüm Kahraman
Cansu Ebru Koylan
Çağlar Çakır
Merve Oğuz
Muammer Önel

Hindi Çiftliği Atama Problemi,
Çamlı Yem Besicilik Sanayii ve Ticaret A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Levent Kandiller (levent.kandiller@yasar.edu.tr)
Özge Büyükdağlı (ozge.buyukdagli@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Berkan Ergin
Begüm Kozanoğlu
İsmet Korhan Türkbay
Canan Yılmaz

Oto Tamir Boyalarında Üretim Planlama,
DYO Boya Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Deniz Özdemir (deniz.ozdemir@yasar.edu.tr)
Özge Büyükdağlı (ozge.buyukdagli@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Emir Arif Çadırcı
Arda Şen
Çağatay Gökçe
Onur Zıraman

**Toplu Ulaşımında Kesikli-Olay Benzetimi Yaklaşımı ile
Otobüs Hatları için Zaman Çizelgesi,
İzmir Elektrik, Su, Havagazı, Otobüs, Trolleybüs Genel
Müdürlüğü**

Akademik Danışmanlar

Doç. Dr. Deniz Türsel Eliyi (deniz.eliyi@yasar.edu.tr)
Hande Öztop (hande.oztop@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Gizem Sağım
Merve Varol
Serkan Elhan
Fatma Talya Temizçeri
Tuna Sezgin

**Çok Ölçütlü Hammadde ve Müşteri Sınıflandırmasına
Dayalı Sipariş ve Stok Tayımlama Kontrolü,
Kansai Altan Boya Sanayi ve Ticaret A.Ş.**

Akademik Danışmanlar

Yard. Doç. Dr. Önder Bulut (onder.bulut@yasar.edu.tr)
Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Güler Pınar Susup
Cem Talas
Berkin Ertuğrul
Özgecan Fidan

Beyaz Et Üretim Sürecinde Kesim Planlama Problemi,
Keskinoğlu Tavukçuluk ve Damızlık İşl. San. Tic. A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Yard. Doç. Dr. Adalet Öner (adalet.oner@yasar.edu.tr)
Aylin Akçalı (aylin.akcali@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Bahriye Cansın Gülce
Berk Buralı
Burcu Genç
Kadir Doruk Aydemir
Muammer Tay

Şarküteri Paketleme Hattında Performans Analizi ve
Çizelgeleme,

Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Sencer Yeralan (sencer.yeralan@yasar.edu.tr)
Özgün Öztürk (ozgun.ozturk@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Günce Cellek
Ahu Çardak
Cansu Muğla
Selenay Süzmetaş
Yasemin Yücel

**Depo Süreçlerinin İyileştirilmesi ve Bir Depo Yönetim
Sistem Önerisi,**

Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş

Akademik Danışmanlar

Yard. Doç. Dr. Ömer Öztürkoğlu

(omer.ozturkoglu@yasar.edu.tr)

Bahar Taşar (bahar.tasar@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Ceyhan Ceylan

Ful Aytuğ

Mert Aracı

Temmuz Güner

**Teknik Balans Firmasında Üretim Hattı Tasarımı ve
Dinamik Kontrolü,**

Teknik Balans Makine Sanayi A.Ş

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. M. Murat Fadiloğlu (murat.fadiloglu@yasar.edu.tr)

Sinem Özkan (sinem.ozkan@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Aslıgül Börühan

Ayşe Doğan

Ayşe Melis Gökkan

Ceren Yeni

Yazgül Yurğun



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ

Yaşar Üniversitesi Selçuk Yaşar Kampüsü
Üniversite Caddesi, No: 37-39 Ağaçlı Yol, Bornova, İzmir PK 35100
Tel: 0232 411 50 00 Fax: 0232 374 54 74

www.yasar.edu.tr

