

Endüstri Mühendisliği

Cilt: 28 Sayı: 3 Eylül 2017

ISSN 1300-3410



tmmob makina mühendisleri odası yayınıdır

www.mmo.org.tr/endustri

37. YA/EM ULUSAL KONGRESİ ÖĞRENCİ PROJE YARIŞMASI ÖZEL SAYISI

3-19

BİR SAVUNMA SANAYİ ŞİRKETİNDE MALZEME ENVANTER YÖNETİM SİSTEMİNİN YENİDEN TASARLANMASI

Süleyman Mert AYDIN, Mert KARAASLAN, Tolga KARABAŞ,
Yusuf Mahir NARTOK, Rüstem Ozan ÖZDEMİR, Ömer KIRCA, Sedef MERAL

20-34

BİYOGAZ ENERJİ ÜRETİM TESİSİ İÇİN BİYOKÜTLE LOJİSTİK YÖNETİMİ

Kürşad DERİNKUYU, Berke TARAKÇIOĞLU, İrem Melis KOÇ,
Eren SAZAK, Doğaç ZENGİN

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI
YAYINIDIR

3 Ayda Bir Yayınlanır
Yerel Süreli Yayın
Hakemli Bir Dergidir

TEMMUZ/AĞUSTOS/EYLÜL 2017
July/August/September

Cilt / Vol: 28 Sayı / No: 3

Makina Mühendisleri Odası Adına Sahibi
Publisher
Ali Ekber ÇAKAR

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Executive Editor
Yunus YENER

Yayın Sekreteri / Editorial Secretary
Aylin Sıla AYTEMİZ

Baş Editör / Editor in Chef
Ferda Can ÇETINKAYA - Çankaya Üniversitesi

Yardımcı Editörler / Associate Editors
Özgür YALÇINKAYA - Dokuz Eylül Üniversitesi
Güzin ÖZDAĞOĞLU - Dokuz Eylül Üniversitesi

Yayın Kurulu / Editorial Board
Bülent DURMUŞOĞLU - İstanbul Teknik Üniversitesi
Aydın KAYNARCA - Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Olcay POLAT - Pamukkale Üniversitesi

Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board
Cafer ÇELİK - Atatürk Üniversitesi
Emin KAHYA - Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fikri EGE - Toros Üniversitesi
Hakan ÖZCAN - Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Kemal YILDIZLI - Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Zerrin ALADAĞ - Kocaeli Üniversitesi

Redaksiyon / Redaction
Tarık ÖZBEK

Teknik Sorumlu / Technical Manager
Mehmet AYDIN

Sayfa Tasarımı / Page Design
Münevver POLAT

Baskı / Printed By
Ankamat Matbaacılık Sanayi Ltd. Şti.
30. Cadde 538. Sokak No:60
İvedik Organize Sanayi - ANKARA
Tel: (0 312) 394 54 94

Baskı Sayısı / Circulation
5500

Baskı Tarihi / Publishing Date
9 Şubat 2018

Yönetim Yeri / Head Office
TMMOB Makina Mühendisleri Odası
Meşrutiyet Cad. 19/6.Kat Kızılay-ANKARA
Tel: 0 850 495 0 666 (06)
Fax: 0 312 417 86 21
e-posta: yayin@mmo.org.tr
http://www.mmo.org.tr/endustri



Endüstri Mühendisliği dergisi EBSCO Veri Tabanında ve ayrıca International Abstracts in Operations Research tarafından taranmaktadır.

S U N U Ş

Merhaba Değerli Meslektaşlarımız,

2017 yılının üçüncü sayısında, Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 37. Ulusal Kongresi YA/EM 2017 proje yarışmasında ödüle layık görülen iki makalemiz ile karşınızdayız.

Dergimizde yer alan ilk makalemiz, Süleyman Mert Aydın, Mert Karaaslan, Tolga Karabaş, Yusuf Mahir Nartok, Rüstem Ozan Özdemir, Ömer Kırca ve Sedef Meral'e ait olan "Bir Savunma Sanayi Şirketinde Malzeme Envanter Yönetim Sisteminin Yeniden Tasarlanması" başlıklı çalışmadır. Bu çalışmada, bir savunma sanayi şirketindeki satın alınan malzemelerin envanter yönetim sistemi ve bu sistemdeki problemler ele alınmıştır. Sisteminin analizi sonucunda dört ana problem belirtisi saptanmıştır: düşük "envanter devir oranı", gerçeği yansıtmayan "fire oranı", tedarik sürelerinin rassallığından dolayı malzemelerin planlanan teslim tarihlerine göre "gecikme"leri ve satınalma onaylarının "şirket içi bekleme" süreleridir. Çalışmada, bu belirtilerin yol açtığı Ana Üretim Çizelgesinde yapılan değişiklikler, üretimde malzeme eksikliğinden dolayı yaşanan aksaklıklar, proje teslimlerinde gecikmeler gibi problemlerin hafifletilmesini amaçlayan malzeme envanter yönetiminin yeniden tasarlanması ele alınmıştır. Yeni yaklaşımlar geliştirilmiş ve sonuçları mevcut sistemle kıyaslanmıştır.

Dergimizde yer alan ikinci makalemiz ise Kürşad Derinkuyu, Berke Tarakçıoğlu, İrem Melis Koç, Eren Sazak ve Doğaç Zengin tarafından hazırlanan "Biyogaz Enerji Üretim Tesisi İçin Biyokütle Lojistik Yönetimi" başlıklı çalışmadır. Bu çalışmada, tesisin atık ihtiyacını mevcut çiftliklerden taşımak için atık miktarı, çiftlik sayısı ve birbirlerine yakınlığı çoklu amaç fonksiyonları altında incelenmesi yapılmış olup araç sayısı ve her bir aracın günlük rota maliyeti en küçüklenmiştir. Çalışmada bir matematiksel model önerilmiş ve 4 aşamalı bir çözüm geliştirme sezgisel oluşturulmuştur.

Endüstri Mühendisliği dergisinin mesleğimiz üzerindeki etkinliğini artırmak, dergimizi nitelik bakımından daha üst seviyelere taşıyabilmek ve uluslararası farklı indekslerde temsil edilebilmesi için siz okurlarımız/meslektaşlarımızdan makale, yazı ve görüşlerinizi bekliyoruz. Dergimizde yayımlanan makalelere <http://www.mmo.org.tr/endustri> adresinden erişebilir; makale ve yazılarımızı <http://omys.mmo.org.tr/endustri/> adresinden bize ileterek dergimize katkıda bulunabilirsiniz.

Dergimizin bu sayısında çalışmalarına yer verdiğimiz yazarlara ve çalışmaların değerlendirilme sürecine katkıda bulunan hakemlerimize teşekkür eder, dördüncü sayımızda buluşmak dileğiyle iyi okumalar dileriz.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu

Özel Sayı Sunuşu: 37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Projeleri Yarışması



Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 37. Ulusal Kongresi YA/EM 2017, Yöneylem Araştırması Derneği ve Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü işbirliğiyle, Yıldız Teknik Üniversitesi ev sahipliğinde “Afet ve Kriz Yönetiminde YAEM’in Rolü” ana temasıyla 5-7 Temmuz 2017 tarihleri arasında İstanbul’da gerçekleştirilmiştir.

Kongre kapsamında düzenlenen dersler, genel oturumlar ve bildiri sunumlarının yanı sıra, her yıl olduğu gibi üniversitelerin lisans öğrencileri tarafından öğretim üyeleri danışmanlığında YA/EM teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen projelerin tanıtılması ve ödüllendirilmesi amacıyla Öğrenci Projeleri Yarışması da gerçekleştirilmiştir.

Yarısmaya toplam 69 proje başvurmuştur. Öğrenci Proje Yarışması sürecince; İlker Murat Ar, Birdoğan Baki, Abit Balın, Gülçin Büyüközkan, Ferhan Çebi, Selçuk Çebi, Erkan Çelik, Nihan Çetin Demirel, Serpil Erol, Muhammet Gül, Bahadır Gülsün, Umut Hulusi İnan, Özgür Kabak, İhsan Kaya, Onur Kaya, Başar Öztayşi ve Fatih Yılmaz hakem olarak görev almışlardır. Elemeler sonunda sekiz proje finale kalmıştır ve bu projelerden üçü aralarında herhangi bir sıralama yapılmadan ödüle layık görülmüştür.

Yarışma sonucunda ödüle layık görülen projelerden biri akademik danışmanlığı Ömer KIRCA ve Sedat MERAL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü) tarafından yürütülen “Bir Savunma Sanayi Şirketinde Malzeme Envanter Yönetim Sisteminin Yeniden Tasarlanması” başlıklı projedir. Projede, bir savunma sanayi şirketindeki satın alınan malzemelerin envanter yönetim sistemi ve bu sistemdeki problemler ele alınmıştır.

Akademik danışmanlığı Kürşad Derinkuyu (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü) tarafından yürütülen “Biyogaz Enerji Üretim Tesisi İçin Biyokütle Lojistik Yönetimi” başlıklı makale projede ödüle layık görülen çalışmalardan bir diğeridir. Bu projede, tesisin atık ihtiyacını çevresinde mevcut çiftliklerden taşımak için atık miktarı, çiftlik sayısı ve birbirlerine yakınlığı çoklu amaç fonksiyonları altında incelenmiş olup araç sayısı ve her bir aracın günlük rota maliyeti en küçüklenmiştir.

Ödüle layık görülen bir diğer proje ise akademik danışmanlığı Emrah Edis (Manisa Celal Bayar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü) tarafından yürütülen “Rüzgar Türbinlerinin Yerleştirilmesi İçin Tamsayı Programlama ve Sezgisel Tabanlı Çözüm Yöntemi” başlıklı projedir. Proje Danışmanı, öğrencilerin çalışmalarından hazırlanacak makaleyi Endüstri Mühendisliği dergisine göndermeyeceklerini beyan etmiştir. Bu sebeple, seçilen diğer projelerden elde edilmiş makaleler elinizdeki bu Özel Sayıda yer almaktadır.

Yarısmaya katılan tüm öğrencileri ve projelerin yürütülmesinde ve makalelere dönüştürülmesinde emeği geçen danışman öğretim üyelerini tebrik eder, özel sayının hazırlanması sürecinde paylaştığı bilgiler ve dokümanlar için Kongre Başkanı Vildan Özkır’a ve elinize ulaştırılması sürecinde emeği geçen Oda’mız çalışanlarına teşekkür eder, önümüzdeki yıllarda yarışmaya ilginin artarak devam etmesini temenni ederiz.

Saygılarımızla.

Endüstri Mühendisliği Dergisi
Yayın Kurulu

BİR SAVUNMA SANAYİ ŞİRKETİNDE MALZEME ENVANTER YÖNETİM SİSTEMİNİN YENİDEN TASARLANMASI

Süleyman Mert AYDIN, Mert KARAASLAN, Tolga KARABAŞ*, Yusuf Mahir NARTOK, Rüstem Ozan ÖZDEMİR, Ömer KIRCA, Sedef MERAL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
aydinsmert@gmail.com, merttkaraaslan@gmail.com, karabastolga@gmail.com, yusufmahirnartok@gmail.com,
rozanozdemir@gmail.com, kirca@metu.edu.tr, sedef@metu.edu.tr

Geliş Tarihi: 07.10.2017; Kabul Ediliş Tarihi: 25.12.2017

ÖZ

Bu çalışmada, bir savunma sanayi şirketindeki satın alınan malzemelerin envanter yönetim sistemi ve bu sistemdeki problemler ele alınmıştır. Proje kapsamında ilgilenilen sistem, malzeme taleplerinin açılmasından malzemelerin üretim atölyelerine aktarılmasına kadar geçen süreçleri içermektedir. Uygun zamanda ve miktarda tedarik edilen malzemeler, sözleşme üzerine üretim yapan şirket için hayati önem arz etmekte ve tedarikteki olası gecikmeler şirket için prestij kaybının yanı sıra büyük maddi yük oluşturabilmektedir. Mevcut sistemin analizi sonucunda dört ana problem belirtisi saptanmıştır: düşük "envanter devir oranı", gerçeği yansıtmayan "fire oranı", tedarik sürelerinin rassallığından dolayı malzemelerin planlanan teslim tarihlerine göre "gecikme"leri ve satınalma onaylarının "şirket içi bekleme" süreleridir. Bu çalışmada; bu belirtilerin yol açtığı Ana Üretim Çizelgesinde yapılan değişiklikler, üretimde malzeme eksikliğinden dolayı yaşanan aksaklıklar, proje teslimlerinde gecikmeler gibi problemlerin hafifletilmesini amaçlayan malzeme envanter yönetiminin yeniden tasarlanması ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, envanter devir oranlarını arttıracak, toplam malzeme elde tutma ve sabit sipariş maliyetlerini, malzeme kıtlığı olasılığını ve bozulan malzeme miktarını azaltacak malzeme envanter yönetimi için bir karar destek sistemi önermektir. Bu amaçla, yeni yaklaşımlar geliştirilmiş ve sonuçları mevcut sistemle kıyaslanmıştır. Malzemelerin tipleri ve raf ömürleri göz önünde bulundurularak, uygun sipariş büyüklükleri ve zamanlamaları sezgisel yaklaşımlar ve matematiksel modellerle belirlenmiştir. Daha sonra ise önerilen sistemle mevcut sistem, hem geçmiş veri ile hem de Monte Carlo Benzetimi kullanılarak ileriye dönük veri ile test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme envanter yönetimi, rassal tedarik süresi, sipariş zamanı ve büyüklüğü, Gazeteci Çocuk Problemi, Monte Carlo Benzetimi

DESIGN OF AN INVENTORY MANAGEMENT SYSTEM FOR THE PURCHASED MATERIALS IN A DEFENSE-INDUSTRY COMPANY

ABSTRACT

In this study, the inventory management system of the purchased materials in a defense industry company, and the problems therein are discussed. The system involved in the project includes the processes from the opening of the materials orders to the transfer of the materials to the production workshops. The materials supplied at the appropriate time and quantity are of vital importance for the contract manufacturing company and the potential delays in the supply are the major financial burden as well as the loss of prestige for the firm. The analysis of the current system has revealed four major problem symptoms: low "inventory turnover ratio", "waste ratio" that does not reflect the reality, "delays" based on scheduled delivery dates of materials due to the uncertainty in lead times, and "in-house waiting times" for purchase approvals. In this study, the redesign of material inventory management system aimed at alleviating problems such as frequent replacement of the Master Production Schedule caused by these symptoms, defects due to lack of materials in production, and delays in project delivery is addressed. The purpose of this study is to propose a decision support system for material inventory management that helps increase inventory turnover ratios, reduce total material holding and fixed ordering costs, reduce the likelihood of material shortage, and reduce the amount of spoiled material. For this purpose, new approaches are proposed and the results thus obtained are compared against the current system. Considering the types and shelf lives of materials, appropriate order sizes and schedules are determined by means of heuristic approaches and mathematical models. Then the proposed and existing systems are tested using both past data and prospective data generated through Monte Carlo Simulation.

Keywords: Materials inventory management, stochastic lead times, order timing and order size, Newsvendor Problem, Monte Carlo simulation

* İletişim yazarı

37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda ödül kazanan çalışma ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. GİRİŞ

Savunma sanayi şirketlerinde nihai ürünler müşteri ve şirket arasında imzalanan sözleşmelere göre sipariş-göre-tasarım bazlı üretilmektedir. Bu sözleşmeler özellikle proje teslim tarihleri ve malzeme tedarikçileri üzerinde önemli kısıtlamalar içerirken, teslimattaki gecikmeler şirketler için oldukça yüksek ceza maliyetlerine neden olmaktadır. Bu gecikmeler genellikle tedarikçilerden kaynaklanmakta, ancak malzemelerin ve ürünlerin kendilerine özgü kısıtlarının olması sebebiyle sadece belli başlı tedarikçilerle çalışılabilmektedir. Söz konusu gecikmeleri engellemek için tedarikçi ve malzeme özelliklerini göz önünde bulundurarak malzeme envanter yönetimini iyileştirecek, uygun sipariş büyüklüğü ve zamanlamalarını belirlemeye yarayacak etkili bir envanter yönetim sistemi kurulması gerekmektedir.

Çalışmanın yürütüldüğü şirket, tasarım ve üretim faaliyetlerini; özelleştirilmiş, uzun temin süreli son ürünler içeren projelerle sürdürmektedir. Bu projelerin gereksinimleri, tıpkı diğer savunma sanayi şirketlerinde olduğu gibi, müşterilerle imzalanan anlaşmalarla belirlenmekte ve her projenin malzeme ihtiyacı projeden sorumlu mühendisler tarafından takip edilmektedir. Ancak mevcut envanter yönetim sistemi, sipariş açılmasından malzemelerin üretim atölyelerine taşınmasına kadar olan süreci sorunsuz şekilde yönetebilmek için yetersiz kalmaktadır.

Mevcut malzeme envanter yönetim sistemi incelendiğinde dört temel problem belirtisi ile karşılaşılmıştır. Bunlardan ilki, bir yıl içerisindeki toplam malzeme ihtiyacının, yıl içindeki ortalama envanter seviyesine bölünmesiyle hesaplanan “envanter devir oranları”nın düşüklüğüdür. Malzemelerin siparişleri açılırken “en küçük sipariş büyüklüğü”, “paket büyüklüğü” ve “raf ömrü” gibi kısıtlar gözetilerek uygun sipariş büyüklükleri ve zamanlamaları hesaplandığı takdirde, ortalama envanter seviyesinin düşeceği; dolayısıyla da envanter devir oranlarının artacağı açıktır.

İkinci problem belirtisi ise “fire oranları”dır. Şirkette, malzeme grubu ayrımı gözetmeksizin, deneyime dayalı olarak kabul edilen fire oranı kişiden kişiye göre değişiklik göstermektedir. Genellikle %20 ile %30 olarak kabul

edilen fire oranlarının, envanter hareketleri malzeme bazlı olarak incelendiğinde bu değerlerden çok daha farklı olduğu tespit edilmiştir.

Bir diğer problem belirtisi olan “tedarik süreleri”, tedarikçilerin özellikleri göz önünde bulundurularak planlanan malzeme tedarik süreleri olarak belirlenmiş olup, sabit kabul edilmektedir. Ancak gerçekleşen teslim tarihleri ile planlanan teslim tarihleri, genellikle gecikme şeklinde, birbirinden farklı olmaktadır. Envanter hareketleri incelendiğinde, malzemelerin %72’sinin teslim tarihlerinin varyasyon katsayısı 0,3’ten büyük olarak saptanmıştır; bu analizin sonucu, tedarik sürelerinin rassal dağılıma sahip olduğuna dair önemli bir bulgudur.

Son problem belirtisi ise şirket içi onay sürelerinin uzunluğudur. Siparişlerin şirket içi bekleme süresi, Üretim Planlama Müdürlüğü’nde talep açılmasından Tedarik Direktörlüğü’nde siparişin onaylanmasına kadar geçen süreyi kapsamaktadır. Yine yapılan incelemelerde bu sürenin tedarik sürecinde oldukça önemli bir yer tuttuğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, mevcut envanter sistemindeki sorunlar incelenmiş, sezgisel ve matematiksel modeller kullanılarak malzemeler için uygun sipariş zamanlamalarını ve sipariş büyüklüğünü belirlemeye yarayacak bir karar destek sistemi önerilmiştir. Literatürde, en uygun sipariş verme zamanının belirlenmesine katkıda bulunacak rassal tedarik süreli envanter modelleri incelendiğinde; malzemelerin bozulabilirliğini dikkate almadan sipariş verme zamanı bulunması sağlanırken, bu çalışmada önerilen yöntem ile malzemelerin bozulma durumlarını da dikkate alarak sipariş verme zamanları belirlenmektedir. Ayrıca sipariş büyüklüğünün belirlenmesinde ise maliyet odaklı farklı sezgisel kafiye büyüklüğü yöntemleri ile (Silver-Meal, Groff, Freeland-Colley ve Parça-Dönem Dengeleme yöntemleri), malzeme sınıfını da dikkate alan en düşük maliyetli çözümü veren sezgisel yöntemi seçme yoluna gidilmiştir. Bu sayede bu sezgisellerin uzun vadede maliyeti en düşük olan sipariş büyüklüklerine uygun sipariş verme zamanları belirlenmiştir. Ayrıca, bazı malzemeler için “en küçük malzeme sipariş miktarı” ve “paket büyüklüğü” gibi tedarikçi kısıtlarını dikkate alan matematiksel modeller aracılığıyla malzeme sipariş büyüklükleri belirlenmiştir. Son olarak, şirket için kritik

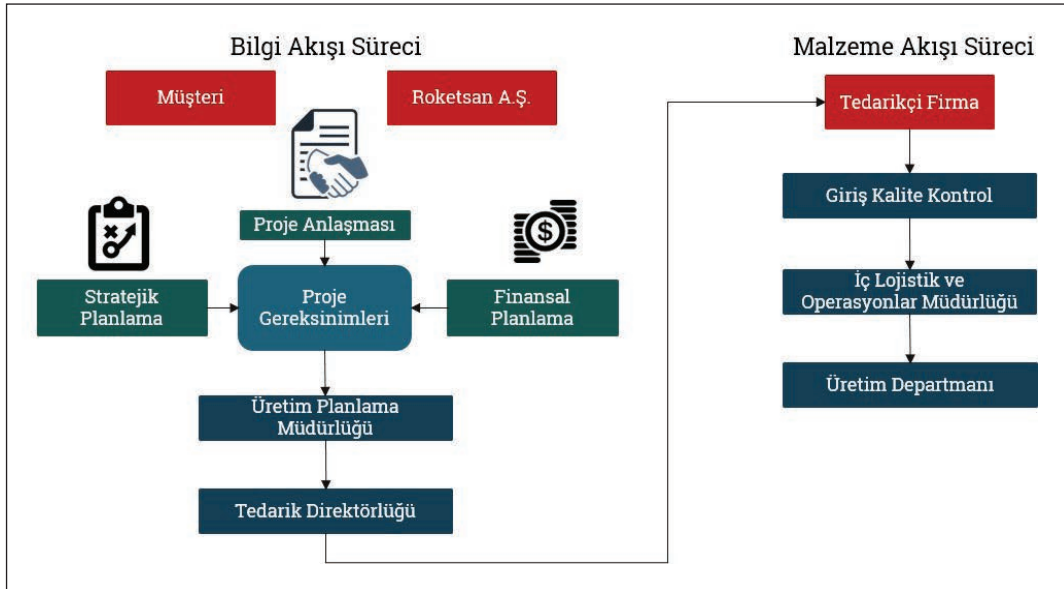
olduğu bilinen bir performans ölçüsü olan envanter devir oranı; ortalama envanter seviyesinin zamana bağlı olarak Riemann Toplamıyla yaklaştırılması ve toplam malzeme tüketim miktarlarının belirlenmesiyle hesaplanır. Sonuç analizi kısmında ise mevcut sistem ve önerilen yeni sistem karşılaştırmaları, hem geçmiş veri hem de Monte Carlo Benzetimi sayesinde ileriye dönük veri ile yapılmış ve ilgili performans ölçülerinde önemli iyileştirmeler gözlemlenmiştir.

2. ORGANİZASYONA GENEL BAKIŞ: İLGİLİ SÜREÇLER, PROJE VE MALZEME SINIFLARI

Bu bölümde, malzeme tedarik sürecinde görev alan birimler arasındaki hiyerarşi, proje türleri ve malzeme türleri anlatılmaktadır. Malzeme tedarik süreci, bilgi akışı ve malzeme akışı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bilgi akışı süreci, şirket ile müşterileri arasında imzalanan anlaşmalarla başlar ve sözleşmelerde belirtilen proje gereksinimlerine göre stratejik ve finansal planlamalar ile devam eder. Bu gereksinimler daha sonra Üretim Planlama Müdürlüğü'ne aktarılır. Proje gereksinimlerinden ilk olarak Ana Talep Çizelgesi oluşturulur. Daha sonra bu çizelgeden yararlanılarak, Kurumsal Kaynak Planlama yazılımı vasıtasıyla Ana Üretim Çizelgesi ve atölye çizelgeleri oluşturulur. Ana Üretim Çizelgesinden

Malzeme İhtiyaç Planlaması çıkarıldıktan sonra eldeki malzeme durumuna göre yeni malzeme tedariki kararı ve atölyelere iş emirleri verilir. Yeni malzeme tedariki kararı verilmesi durumunda bu talep, onay için Üretim Planlama Müdürlüğü'ndeki yöneticilere aktarılır. Sipariş maliyetine göre gereken onayın süresi değişiklik gösterir. Üretim Planlama Müdürlüğü'nde yönetici onayı alındıktan sonra bu siparişler Tedarik Direktörlüğü'ne iletilir ve tıpkı Üretim Planlama Müdürlüğü'nde olduğu gibi gerekli yönetici onayı alındıktan sonra siparişler tedarikçilere aktarılır ve bilgi akışı süreci noktalanır. Tedarikçilerden gelen malzemelerin Giriş Kalite Kontrol'deki testlerinin yapılması ve ardından İç Lojistik ve Operasyonlar Müdürlüğü ile atölyelere aktarılması ise malzeme akışı sürecini kapsamaktadır (Şekil 1).

Şirketteki proje türleri; seri üretim, araştırma-geliştirme (AR-GE) ve fason üretim projeleri olarak sınıflandırılır. Seri üretim projeleri, tasarımı daha önceden tamamlanmış ürün tiplerinden oluşur. Öte yandan, çalışmanın yürütüldüğü şirket bir savunma sanayi şirketi olduğu için AR-GE projeleri üretimde önemli bir yer tutmaktadır. Başlangıçta prototip sayıları birkaç ile ifade edilen bu projelerin, zamanla prototip sayılarında meydana gelen artışla beraber seri üretime geçme ihtiyacı hissedilir ve bir AR-GE projesinin seri üretime geç-



Şekil 1. Malzeme Tedarik Süreci

bilmesi için kalifikasyon adı verilen işlemde geçmesi gerekmektedir. Kalifikasyon, önce üretim bandı bazında, daha sonra da parça bazında tamamlanır. Fason üretim proje grubu ise tasarımı iş ortakları tarafından üstlenilen, şirketin yalnızca üretim kısmında rol aldığı projeleridir.

Şirkette satın alınan malzemeler “esnek kaynak kullanımlı” ve “kesin kaynak kullanımlı” olmak üzere iki malzeme grubu olarak tanımlanır. Esnek kaynak kullanımlı malzemeler tüm projeler tarafından ortak kullanılabilen malzeme gruplarından oluşmaktadır. Bu tür malzemelerin siparişleri genellikle Tedarik Direktörlüğü tarafından toplaştırılarak açılır; boya, yapıştırıcı ve bazı kimyasal türü malzemeler esnek kaynak kullanımlı malzemelere örneklerdir. Öte yandan, kesin kaynak kullanımlı malzemeler ise yalnızca sipariş sahibi olan planlama grubunun projeleri tarafından kullanılabilen malzemelerden oluşur. Kesin kaynak kullanımlı malzemelerin tedarik süreleri, esnek kaynak kullanımlılara göre genellikle daha uzundur.

3. PROBLEM ANALİZİ

3.1 Probleme İlgili Sistem Mekanizması

Şirkette üretim atölye bazlı olup, faaliyetlerini sürdürdüğü iş ortamının doğası gereği seri üretim projelerinin yanı sıra AR-GE projelerine de büyük önem verilmektedir. Bu sebeple şirket içi malzeme envanter yönetimi karmaşık ve zorlu olabilmektedir. Karmaşıklıkla yaratan unsurlar aşağıda sıralanmıştır:

- Oldukça yüksek sayıda hammadde malzeme kalemi bulunması
- Aynı anda süreçleri ve malzeme ihtiyaçları birbirinden farklı olabilen birden çok projenin yürütülmesi
- Ürün ağaçlarındaki çeşitlilik
- Malzeme tedarigi için gereken uzun süreli şirket-içi onay prosedürü
- Oldukça özelleştirilmiş son ürünler
- Operasyonel belirsizlikler
- Gizlilik sözleşmeleri gereği tedarik sürecinde alınması gereken tedbirler
- Sözleşmeler ile belirlenen katı kısıtlar
- Tedarikçi tarafından belirlenen kalem bazlı minimum sipariş miktarları ve belli paket büyüklükleri
- Bozulabilen malzemeler için raf ömrü kısıtları

Mevcut sistemde var olan karmaşıklıkları göz önünde bulundurarak, proje gerekçesi ve amacı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Proje gerekçesi: Malzemelerin karakteristik özelliklerini (elektronik, kimyasal, yapıştırıcı vb.) göz önüne alan bir malzeme envanter yönetim sisteminin yetersizliği

Amaç: Malzeme tedarik sürecini iyileştirecek bir envanter yönetim sisteminin tasarlanması

3.2 Veri Analizi ve Problem Belirtileri

Sistemi daha iyi anlamak ve problem belirtilerini gözlemleyebilmek için aşağıda belirtilen verilerden yararlanılmış ve detaylı analizler yapılmıştır.

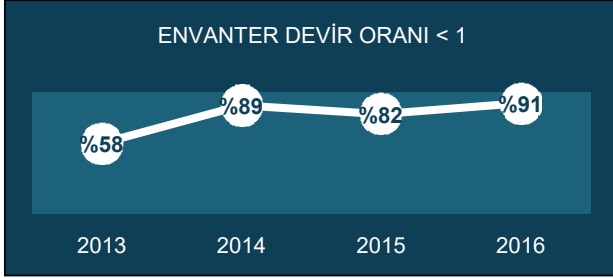
- Ocak 2013 ile Ağustos 2016 tarihleri arası şirket içi envanter hareketleri
- Ocak 2013 ile Ağustos 2016 tarihleri arası talep-sipariş takip işlemleri

Bu veriler üzerinde yapılan analizler sonucunda aşağıda açıklamaları ile verilen dört problem belirtisi ortaya çıkmıştır.

Envanter Devir Oranı

Öncelikle, verisi olan her malzeme kalemi için yıllık ortalama envanter seviyeleri yukarıda adı geçen envanter hareketi verisinden yararlanılarak Riemann Toplamı yöntemiyle hesaplanır. Bu yöntemde, envanter seviyeleri bir sonraki seviye değişimlerine kadar geçen süre ile çarpılır ve bu çarpımlar toplanıp ilk ve son hareket arası geçen süreye bölünerek ortalama envanter seviyeleri hesaplanır. Daha sonra, kalem bazlı toplam tüketim miktarı, bulunan bu ortalama envanter seviyesi ile bölünür ve böylece her bir malzeme kalemi için veri setindeki her bir yıla ait ortalama envanter devir oranı hesaplanmış olur. Bu değerler, bir kalemin yıl içerisinde kaç defa tamamen tüketildiğini göstermektedir. Bu değerlerin düşük olması, malzemenin kullanımının ortalama envanter seviyesine göre düşük olduğunu ve bu yüzden elde tutma maliyetlerinin yüksek olduğunu gösterir.

Anlatılan yöntem kullanılarak 5826 adet malzeme kalemi için envanter devir oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 2013 yılında malzemele-



Şekil 2. 2013-2016 Yıllarında Envanter Devir Oranı '1'Den Küçük Olan Malzemelerin Oranları

rin %58'inin, 2016 yılında ise %91'inin envanter devir oranlarının '1'den küçük olduğu saptanmıştır (Şekil 2).

Fire Oranı

Fire, hurdaya çıkan ve tedarikçiye iade edilen malzemeleri içermektedir. Bu oranın sipariş açılırken gereken miktarın üzerine eklenmesiyle son sipariş büyüklüğü belirlenmiş olur.

Şirkette üretim planlama mühendisi malzeme talebi açarken her bir malzeme kalemi için bu fire oranını deneyimlerine dayalı olarak belirlemektedir. Örneğin, farklı projelerde çalışan ve aynı malzemelerden sorumlu iki mühendisten biri aynı malzeme kalemi için fire oranını %20 belirlerken, diğeri %30 olarak belirleyebilmektedir.

İlk olarak, her bir malzeme grubu için envanter hareketleri verisi kullanılarak gerçekleşen hurda oranları hesaplanmıştır. Tablo 1'de de görüldüğü gibi, değişik malzeme grupları için hurda oranları büyük değişimler göstermektedir. Örneğin, yapıştırıcı grubu malzemelere bakıldığında, bunların %41'inin hurda oranı %20'den, yine %31'inin hurda oranının %30'dan büyük olduğu görülmektedir.

Tedarikçiye iade kısmına gelindiğinde ise, Tablo 2'de görüldüğü gibi, yapıştırıcı grubu malzemeler ele alındığında %14'ünün tedarikçiye iade oranının %20'den büyük olduğu tespit edilmektedir.

Yüksek fire oranı üzerine yapılan detaylı çalışmalar sonucunda, karşılaşılan yüksek fire oranının büyük bir kısmının raf ömürlü malzemelerden kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle kısa raf ömürlü malzemelerde bu oranın yüksek çıkması, deneyime dayalı olarak yapılan sipariş büyüklüğü belirleme işlemlerinin hatalı sonuçlar verebildiğini ortaya koymuştur.

Tedarik Süresi

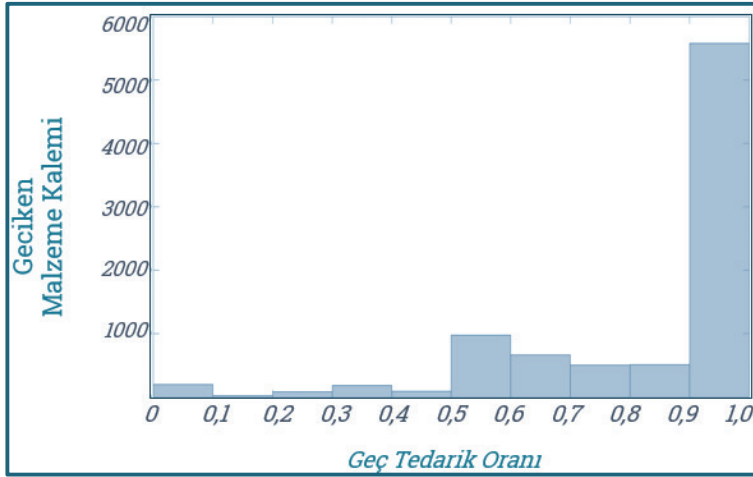
Şirkette kalem bazlı olarak önceden belirlenmiş teorik tedarik süreleri bulunmaktadır. Bu teorik süreler göz önünde bulundurularak üretim planlama mühendisi ihtiyaçların taleplerini açacağı zamanı belirlemektedir. Teorik verilere dayalı planın dışında bir tedarik süresinin gerçekleşmesiyle ihtiyaç duyulan malzemelerin erken ya da geç gelme durumları ve bu durumlara bağlı maliyetler ortaya çıkmaktadır. Malzemelerin erken gelmesiyle birlikte elde tutma maliyeti ortaya çıkar. Öte yandan, malzemelerin geç gelmesi durumunda ise tedarige dayalı yapılan üretim planı aksamakta, hatta projelerin müşteriye teslim tarihlerinde gecikmeler yaşanabilmektedir. 2016 yılının ilk yarısında şirket içerisinde yapılan bir çalışmada, projelerdeki gecikmelerin %25'inin malzeme tedariginde yaşanan gecikmelerden kaynaklandığı saptanmıştır. Tedarik süreleri, talep-sipariş takip veri setindeki sipariş onay tarihinden siparişlerin şirkete ulaşma tarihine kadar geçen süre olarak alınır. Belirtilen hesaplama yöntemi kullanıldığında Şekil 3'teki histogram elde edilir.

Tablo 1. Malzeme Gruplarına Göre Hurda Oranları

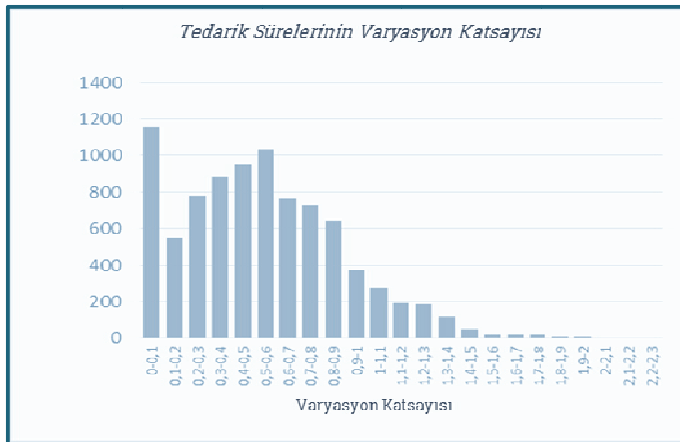
Malzeme Türü	Hurda Oranları								
	>%10	>%20	>%30	>%40	>%50	>%60	>%70	>%80	>%90
Yapıştırıcı (AD)	%50	%41	%31	%28	%21	%18	%12	%6	%4
Kimyasal (CH)	%15	%13	%11	%9	%8	%7	%5	%3	%3
Yağlama (LU)	%16	%14	%13	%11	%6	%5	%3	%3	%3
Plastik (PL)	%9	%8	%6	%5	%4	%3	%3	%2	%2
Boya (PT)	%21	%15	%13	%11	%9	%6	%2	%2	%1
Lehim-Kaynak (SW)	%7	%7	%7	%7	%2	%2	%2	%2	%2
Dizayn (Seri Üretim) (R)	%2	%2	%1	%1	%1	%0	%0	%0	%0

Tablo 2. Malzeme Gruplarına Göre Tedarikçiye İade Oranları

Malzeme Türü	İade Oranları				
	>%10	>%20	>%30	>%40	>%50
Yapıştırıcı (AD)	%19	%14	%10	%7	%4
Kimyasal (CH)	%8	%6	%4	%4	%3
Elektronik (EL)	%2	%1	%1	%1	%1
Yağlama (LU)	%13	%11	%10	%8	%6
Mekanik (MP)	%4	%3	%2	%2	%1
Paketleme (PC)	%1	%1	%1	%1	%0
Plastik (PL)	%6	%3	%3	%2	%2
Boya (PT)	%15	%9	%5	%4	%4
Metal (RW)	%9	%8	%7	%6	%4
Lehim-Kaynak (SW)	%5	%5	%2	%2	%2
Dizayn (Tasarım) (C)	%7	%6	%4	%2	%2



Şekil 3. Geciken Malzeme Kalemi - Malzemenin Siparişlerinin Gecikme Oranları



Şekil 4. Tedarik Sürelerinin Varyasyon Katsayıları

Üzerinde çalışılan 8786 malzeme kaleminin tedariklerinin %90'ından fazlasında, malzemelerin planlanan zamandan geç geldiği gözlemlenmiştir. Bu da gösteriyor ki, şirket içerisinde önceden belirlenmiş ve sabit alınan tedarik süreleri oldukça hatalı sonuçlara yol açmakta ve hatta proje tesliminde gecikmelerine sebep olmaktadır.

Yapılan araştırmaları biraz daha derinleştirerek malzemelerin tedarik sürelerinin uzunluğu ile geç kalma oranları arasındaki varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Şekil 4'te sonuçları görülen analizde, malzemelerin %72'sinin varyasyon katsayısının, eşik değer olan 0.3'ten büyük olduğu saptanmıştır. Bu bulgular ışığında, tedarik sürelerinin, şirket içerisinde kullanıldığı gibi sabit ve belirli kabul edilmesi yerine, rassal olarak değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

Şirket İçi Onay Süresi

Üretim planlama mühendisinin talep açmasıyla başlayan şirket içi onay süresi, sırasıyla talep onayı, sipariş açılma ve sipariş onayıyla devam eder. Talep açılma ile talep onayı Üretim Planlama Müdürlüğü içerisinde, talep onayı ile sipariş açılması arasındaki süre Üretim Planlama Müdürlüğü ile Tedarik Direktörlüğü arasında ve sipariş açılmasından onaylanmasına kadar geçen süre ise Tedarik Direktörlüğü'nde geçmektedir.

Belirtilen bu süreler üzerinde herhangi bir değişim öngörülmemektedir; gerçekleştirilen bu sürelerin istatistiksel analizleri yapılarak, olası süreler hesaplanmıştır. Şirket içi onay süresi olarak adlandırılan bu süreler, sisteme girdi olarak alınarak, geliştirilecek karar destek sisteminde sipariş tarihi ve büyüklüğü gibi değişkenler belirlenirken göz önünde bulundurulacaktır.

Belirtilen problem belirtileri ışığında yapılan çalışmalar sonucu, projenin tanımı aşağıdaki gibi yapılır: “Satın alınan malzemeler için tedarik sürelerindeki rassallığı, malzemeler arasındaki bağımlılığı, ve raf ömürleri, sabit paket büyüklüğü ile minimum sipariş büyüklüğünü göz önünde bulundurarak anahtar performans göstergeleri olan envanter devir oranını arttırmaya ve tedarik kaynaklı gecikmelerin yanı sıra toplam tedarik maliyetlerini azaltmaya yönelik olarak sipariş büyüklüklerini ve sipariş verme zamanlarını belirlemeye yarayacak bir karar destek sisteminin tasarlanmasıdır.”

4. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Malzemelerin envanter yönetiminde; en küçük sipariş miktarı, sabit paket büyüklüğü ve raf ömrü kısıtlarını göz önünde bulundurarak sipariş büyüklüğü ve sipariş zamanı olmak üzere iki temel karar verilmektedir.

Esnek kaynak kullanımlı malzemelerde, malzemeler arası bağımlılık bulunmadığı için, ilk aşamada sipariş miktarı belirlenirken, ikinci aşamada ise miktarı belirlenmiş siparişin sipariş verilme zamanı belirlenir.

Kesin kaynak kullanımlı malzemelerde, malzemeler arası bağımlılık söz konusu olduğundan, ilk aşamada sipariş verilme zamanı belirlenirken, ikinci aşamada ise sipariş büyüklükleri belirlenir. Aynı iş emrindeki malzemelerin o iş emrinin termin tarihinden önce gelebilmesi için ilk aşamada bu tip malzemelerin sipariş zamanları belirlenir. Her bir iş emri için bu yöntem tekrarlanır. Ortak sipariş zamanına sahip gereksinimler toplandıktan sonra, sipariş verme zamanlarına göre bu gereksinimler en erken sipariş verme zamanından en geç sipariş verme zamanına göre sıralanır. Bu sıralamalar göz önüne

alınarak, bir malzemenin planlama ufku içindeki tüm sipariş büyüklüğü kararları verilir.

Şekil 5’te kesin ve esnek kaynak kullanımlı malzemelerde gerçekleştirilen çözüm yaklaşımlarının aşamaları gösterilmektedir.

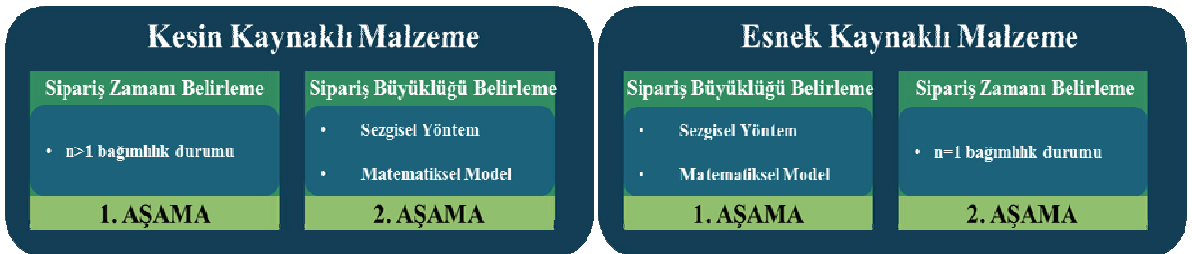
4.1 Literatür Taraması

Sipariş Zamanının Belirlenmesi

Proje çevresine uygunluk açısından literatür taraması yapılmadan önce araştırılacak makalelerin içeriğinde bulunması gereken kriterler belirlendi. Bu kriterler; ARGE şirketlerindeki geniş çaplı projeler ve atölye bazlı üretimin olduğu ortama uygunluk, belirli kesin talepler ve rassal tedarik sürelerine sahip envanter modeli ve malzemeler arası bağımlılıktır.

Belirli kesin talepler, iş emirlerinin açılış zamanlarının ve gereken malzeme miktarlarının belirli olduğunu gösterirken, problem belirtilerinde saptanan tedarik süresinin rassal olması durumu, sabit tedarik süreleriyle çalışılmamasını gerektirmektedir.

“Malzemeler arası bağımlılık”, kesin kaynak kullanımlı malzemeler özelinde malzemeler arası ilişkiye vurgu yapmaktadır. Örneğin, bir iş emrinin açılması için on adet farklı malzemenin mevcudiyeti gerekirken, iş emri termin tarihi düşünüldüğünde, bu malzemelerden birinin bile eksik olmasında iş emrinin başlaması mümkün olamamaktadır. Ronen ve Trietsch (1991), geniş çaplı projelerde malzemeler arası bağımlılığı göz önüne alarak belirli kesin taleplerde rassal tedarik süreleri üzerinden malzeme sipariş zamanı kararları verirler. Önerilen model, iki farklı durum ($n=1 \rightarrow$ bağımlılık yok; $n>1 \rightarrow$ bağımlılık var) için uygulanmıştır.



Şekil 5. Çözüm Yaklaşımının Aşamaları

Sipariş Büyüklüğünün Belirlenmesi

Mevcut sistemin bir diğer problemi olan sipariş büyüklüğü belirleme kararları sistematik bir şekilde alınmamaktadır. Bunun sonucu olarak, satın alınan malzeme kalemlerinde geç tedarik oranları ve ortalama envanter seviyeleri yüksek olmaktadır. Bu sorunları çözebilmek için sistematik olarak sipariş büyüklüğü belirleyecek bir çözüm yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Malzemeler olan talebin belirli olması çözüm yaklaşımımızı belirlemede önemli bir role sahiptir.

Literatürde talebin belirli olması durumunda sipariş büyüklüğü belirlenirken sezgisel yaklaşımları, dinamik programlama ve matematiksel modelleme yöntemlerini kullanan birçok çalışma bulunmaktadır. Blackburn ve Robert (1995), ek-maliyet sezgisellerini çalışmışlar ve mevcut sezgisellerin farklı talep durumlarında farklı sonuçlar vereceğini benzetim modelleri kullanarak göstermişlerdir. Örnek olarak, Freeland-Colley (1982), sezgiselinin dönemsel kesikli talep durumlarında diğer sezgisellere göre toplam maliyet anlamında daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, belirli ve kesikli ancak çok az değişkenliği olan talep durumlarında, Silver-Meal (1973) ve Groff (1979), sezgisellerinin optimale yakın kafiye büyüklükleri vereceğini gözlemlemişlerdir. Parça-dönem-dengeleme sezgiselinin ise genelde en iyi kafiye büyüklüklerinden saptığını, fakat bu sapmanın Wemmerlöw'un (1983) önerdiği LALB (Look-Ahead-Look-Back) testlerinin uygulanmasıyla azaltılabileceğine vurgu yapmışlardır. Okhrin ve Richter (2011), farklı kafiye büyüklüğü kısıtlarından "en az sipariş büyüklüğü" kısıtını göz önünde bulunduran bir dinamik programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu model aslında Wagner-Whitin (1958) algoritmasının güncellenmiş versiyonu olarak görülebilir. Okhrin ve Richter'in (2011) farklılaştığı nokta, durum uzayının en az sipariş büyüklüğünü göz önünde bulundurarak daraltılmasıyla oluşan alt problemlerin en iyi çözümlerinden ana problemin çözümüne ulaşmasıdır. Bu çalışmaların hepsinde kafiye büyüklüğü belirlenirken ard ısmarlamaya izin verilmemektedir. Matematiksel modellerde ise ağ modellemeleri göz önünde bulundurulurken, dönemsel bazda envanter denge ilişkisini içeren, toplam envanter tutma ve sabit sipariş verme maliyetlerini enazlayan

karışık tam sayı modelleri kullanılmaktadır.

4.2 Modelleme

Sipariş Verme Zamanının Matematiksel Modeller ile Belirlenmesi

Sipariş zamanını belirlemede kullanılan model, Bölüm 2.1'de belirlenen kriterlere göre oluşturulmuştur. Bu modelde, esnek ve kesin kaynak kullanımlı malzemelerin farklı doğaları gereği iki farklı model uygulanmıştır. Modellerin dayandığı varsayımlar aşağıda açıklanır:

Varsayımlar

- Rassal tedarik süreleri üssel dağılıma sahip
- Malzemelerin raf ömürleri belirli ve sabit

Modelleme çalışmasında ilk olarak rassal tedarik sürelerinin uygun bir istatistiksel dağılıma oturtma çalışması gerçekleştirilmiştir. Gudum (2012) tedarik sürelerinin dağılımları ile ilgili çalışmasında; Beta, Weibull gibi dağılımlara ek olarak Üssel dağılımın da tedarik sürelerini iyi yansıttığından bahsetmiştir. Çalışmamızda, Üssel dağılımın, modelde kullanılan parametre sayısı açısından hesaplama sürelerinin diğer dağılımlara (Beta, Weibull) göre daha kısa olmasından ve tedarik sürelerini doğru yansıtmada daha uygun olmasından dolayı rassal tedarik sürelerinin Üssel dağılıma sahip olduğu varsayımı yapılmıştır.

Endeks

- i : Bir iş emri içindeki malzeme kalemleri

Parametreler

- t^* : Gereksinim tarihi
- P : Birim ceza (yokluk) maliyeti (aylık)

(Kesin kaynaklı kalemlerin zamanlaması bulunurken; malzeme bağımlılığını göz önünde bulundurmamak amacıyla, iş emrinin içindeki her bir kalem için " P " değeri eşit (o iş emrindeki en büyük birim gecikme maliyeti) alınmıştır.)

- C_i : Birim envanter tutma maliyeti (aylık)
- F_i : i kaleminin tedarik süresi dağılımı
- Kesin kaynaklı kalemler için ek parametreler
 - ▶ S : Bir iş emri içindeki malzeme kalemi grubu (Bağımlı malzeme seti)

Karar Değişkeni

- T_i : i kaleminin sipariş verme zamanı
- Kesin kaynaklı kalemler için ek karar değişkenleri
 - ▶ F_i^- : i kaleminin tedarik süresi dağılımının alt limiti
 - ▶ F_i^+ : i kaleminin tedarik süresi dağılımının üst limiti

$n=1$ Malzeme Durumu (“malzemeler arası bağımlılık yok” durumu)

Bu yöntem, proje kapsamında esnek kaynaklı malzemelerin sipariş zamanı kararlarının verilmesinde kullanılmıştır; çünkü tıpkı $n=1$ durumu gibi esnek kaynak kullanımlı malzemelerde malzemeler arası bağımlılık söz konusu değildir, yani her esnek kaynak kullanımlı malzemeyi tek başına düşünerek sipariş zamanı kararları verilebilir. Bu yöntem literatürdeki “Gazeteci Problemi”ne benzer bir yöntemdir. Bu yöntemde de ürünü elde tutma maliyeti ve ürünün olmaması durumunda yaşanan yokluk (ceza) maliyeti arasındaki ödünleşmeden kaynaklı bir yaklaşım sunulmaktadır. Ancak Gazeteci Problemi belli bir malzeme için uygun sipariş büyüklüğünü belirlerken, $n=1$ durumu uygun sipariş zamanını belirlemektedir. Eğer ilgili malzeme

gereksinim tarihinden önce gelirse elde tutma maliyeti yansırken, o tarihten sonra gelmesi durumunda ise ceza maliyeti uygulanmaktadır. $n=1$ sipariş zamanı belirleme yöntemi, iki maliyet parametresi arasında dengeyi sağlamaya yönelik bir yaklaşımdır.

Amaç Fonksiyonu

$$\min\{C_i \int_{T_i}^{t^*} F_i(t^* - T_i) dt + P \int_{t^*}^{\infty} [1 - F_i(t^* - T_i)] dt\}$$

Yukarıda anlatılanların ışığında uygun sipariş verme zamanı şu şekilde bulunur:

$n > 1$ Malzeme Durumu (“malzemeler arası bağımlılık var” durumu)

$n > 1$ durumu ise malzemeler arası bağımlılığı göz önüne alır. Bu durum, tıpkı kesin kaynak kullanımlı malzemelerde olduğu gibi bir iş emrindeki malzemelerin sipariş verme zamanlarını birbirine bağımlı şekilde gerçekleştirmektedir. İş emrinin termin tarihinden önce ilgili tüm malzemelerinin tedarikliğini kapsamaktadır. Toplam maliyet fonksiyonu, malzemelerin mevcudiyet durumlarına göre sadece elde tutma maliyeti veya ceza maliyetinden oluşmaktadır. Amaç fonksiyonundaki toplam maliyeti oluşturan durumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Amaç Fonksiyonu

$$\min Z(T) = \sum_i C_i * \int_{T_i}^{t^*} F_i dt +$$

[termin tarihine kadar elde tutma maliyeti]

$$0 * \int_{t^*}^{\infty} F_1 * F_2 \dots F_n dt +$$

[bütün malzemeler mevcut: *Durum 1*]

$$\left[P + \sum_{i \neq 1} C_i \right] * \int_{t^*}^{\infty} (1 - F_1) * F_2 \dots F_n dt +$$

[malzeme 1 eksik: *Durum 2*]

$$\left[P + C_1 + \sum_{i \neq 1,2} C_i \right] * \int_{t^*}^{\infty} F_1 * (1 - F_2) * F_3 \dots F_n dt +$$

[malzeme 1 mevcut, malzeme 2 eksik: *Durum 3*]

$$\left[P + \sum_{i \neq 1,2} C_i \right] * \int_{t^*}^{\infty} (1 - F_1) * (1 - F_2) * F_3 \dots F_n dt +$$

[malzeme 1 ve malzeme 2 eksik: *Durum 4*]

·
·
·

$$(P + C_1) * \int_{t^*}^{\infty} F_1 * (1 - F_2) * \dots * (1 - F_n) dt +$$

[malzeme 2 ile n arası eksik]

$$(P) * \int_{t^*}^{\infty} (1 - F_1) * (1 - F_2) * \dots * (1 - F_n) dt +$$

[bütün malzemeler eksik]

Amaç fonksiyonu doğrusal olmadığından ve çözüm yöntemi uzun hesaplama sürelerine yol açtığından dolayı, uygun sipariş zamanı belirlerken yeni bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, sipariş zamanı belirlerken alt ve üst limit belirleme ile başlayıp, bu limitlerin kümülatif dağılım fonksiyonlarının geometrik ortalaması aracılığıyla uygun sipariş zamanının kümülatif dağılım fonksiyonunun elde edilmesiyle devam etmektedir. Bu dağılım sayesinde ilgili sipariş verme zamanı bulunmaktadır.

Geliştirilen sezgiselin algoritması Şekil 6'da paylaşılmıştır.

Sipariş Büyüklüğü Belirleme

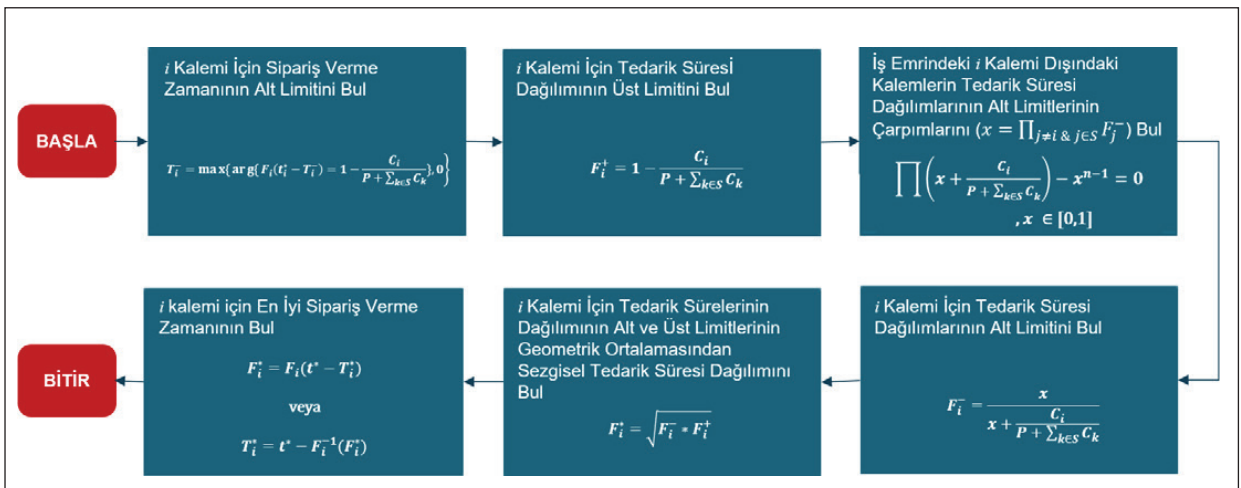
Sipariş büyüklüğü kararları verilirken malzemenin en az sipariş büyüklüğü ve sabit paket büyüklüğü gibi kısıtlarının olduğu durumda matematiksel modeller, olmadığı durumda ise sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Kısıtı Bulunmayan Malzemeler için Sezgisel Yöntemler ile Sipariş Büyüklüğü Belirleme

Bu tip malzemelerin her biri için sipariş büyüklüğü kararları aşağıda açıklanan ek-maliyet sezgisel yöntemlerinden birinin seçilmesiyle belirlenmektedir. Bu sezgisel yöntemler arasından seçme işlemi ise şu şekilde gerçekleştirilir: Sezgisel yöntemin planlama ufku boyunca beklenen toplam sipariş büyüklendirme maliyeti ile, o sezgiselin siparişlerinin sipariş zamanı belirleme modelimizde çalıştırılması sonucu beklenen çizelgeleme maliyetinin toplamını enazlayan sezgisel seçilir. Bu şekilde seçim yapılmasının nedeni, daha önce de belirtildiği gibi, belli sezgisel yöntemlerin belli talep tipi durumlarında daha iyi sonuçlar verebilmesidir.

Endeks

$n =$ periyotlar



Şekil 6. Sipariş Verme Zamanının Bulunması

Parametreler

$d_n = n$ periyodundaki gereksinim miktarı

h = birim envanter tutma maliyeti

S = sabit sipariş verme maliyeti

Groff Sezgiseli (1970)

Sipariş büyüklüğü kararları verilirken, gelecek dönemdeki bir ihtiyacın içinde bulunulan dönemdeki siparişe eklenebilmesi için, o dönemin eklenmesinden kaynaklanan ek envanter tutma maliyetindeki artışın, ek sipariş verme maliyetindeki azalmadan daha az olması gerekmektedir, yani $n \geq 2$ için:

$$h \frac{d_n}{2} \leq \frac{S}{n(n-1)}$$

Freeland-Colley Sezgiseli (1982)

Sipariş büyüklüğü kararları verilirken, gelecek dönemdeki bir ihtiyacın içinde bulunulan dönemdeki siparişe eklenebilmesi için, o dönemin eklenmesinden ve ondan önce içinde bulunulan döneme eklenen dönemlerden kaynaklanan toplam envanter tutma maliyetinin, tek dönemlik sipariş verme maliyetinden daha az olması gerekmektedir, yani $n \geq 2$ için:

$$h d_n (n-1) \leq S.$$

Silver-Meal Sezgiseli (1973)

Sipariş büyüklüğü kararları verilirken, gelecek dönemdeki bir ihtiyacın içinde bulunulan dönemdeki siparişe eklenebilmesi için, dönemlik ortalama maliyette azalma sağlaması gerekmektedir, yani $n \geq 2$ için:

$$d_n \leq \frac{S/h}{(n-1)^2} + \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(j-1)d_j}{(n-1)^2}.$$

Parça-Dönem Dengeleme Sezgiseli (1983)

Sipariş büyüklüğü kararları verilirken, gelecek dönemdeki bir ihtiyacın içinde bulunulan dönemdeki siparişe eklenebilmesi için, o dönemin eklenmesinden doğan toplam ek envanter tutma maliyetinin, içinde bulunulan döneme eklenmemiş olması durumundaki toplam sipariş verme maliyetlerinden daha az olması gerekmektedir.

Kısıtı Bulunan Malzemeler için Matematiksel Model ile Kafiye Büyüklüğü Belirleme

En az sipariş büyüklüğü ve sabit paket büyüklüğü kısıtları gibi kısıtları bünyesinde barındıran malzemele-

rin sipariş büyüklüğü kararları için literatürde var olan sezgisel yaklaşımlar kullanılmadığından dolayı, bu tip malzemeler için sipariş büyüklüğü kararları aşağıda verilen matematiksel model ile belirlenmiştir.

Endeks

j = periyotlar (ay)

Parametreler

$d_j = j$ periyodundaki gereksinim miktarı

m = en az sipariş miktarı

f = sabit paket büyüklüğü

h = birim envanter tutma maliyeti

s = sabit sipariş verme maliyeti

Karar Değişkenleri

X_j : j periyodundaki sipariş miktarı

I_j : j periyodunun sonundaki envanter seviyesi

P_j : j periyodundaki paket büyüklüğü katsayısı

Y_j : 1 eğer j periyodunda sipariş veriliyorsa, diğer durumda ise 0

Amaç Fonksiyonu

$\min z = \sum_j s Y_j + \sum_j h I_j$ [Toplam envanter tutma maliyeti + Toplam sipariş verme maliyetlerini enazla]

Kısıtlar

$$I_j = I_{j-1} + X_j - d_j \text{ her } j \text{ için } (j \neq 1)$$

[j periyodu sonundaki envanter seviyesi; $j-1$ periyodu sonundaki envanter seviyesi ile j periyodundaki sipariş büyüklüğünün toplamından j döneminin ihtiyacının çıkarılmasına eşit olmalı (Envanter denge denklemi)]

$$Y_j m \leq X_j \text{ her } j \text{ için}$$

[j periyodundaki sipariş büyüklüğü en az sipariş miktarına eşit veya ondan büyük olmalı]

$$X_j \geq Y_j \sum_{q=j}^T d_q \text{ her } j \text{ için}$$

[j periyodundaki sipariş büyüklüğü en az j periyodundan itibaren kümülatif ihtiyaç kadar olmalı]

$$X_j = f P_j \text{ her } j \text{ için}$$

[Kafiye büyüklüğü paket büyüklüğünün katları kadar olmalı]

$$X_j, I_j \geq 0, Y_j = 0 \text{ veya } 1, P_j \geq 0 \text{ ve tamsayı, her } j \text{ için}$$

4.3 Modelin Doğrulanması

Bir önceki bölümde anlatılan çözüm yaklaşımı, Matlab® kullanılarak uygulanmıştır. Model, şirket tarafından sağlanan veri seti ile çözümlenerek doğrulanmış ve modelin analizler için kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kararların verilmesinde etkin olan gözlemlerimiz aşağıda listelenmiştir:

- Toplam verilen sipariş miktarının, toplam gereksinim miktarından büyük veya eşit olması
- Siparişin kapsadığı gereksinimlerin sipariş verme zamanının, o siparişin ilk ihtiyacının gereksinim tarihinden önce olması
- Sipariş büyüklüklerinin, en az sipariş ve paket büyüklüğü kısıtlarına uyması
- Ceza (yokluk) maliyeti arttıkça, sipariş verme zamanının öne çekilmesi
- Sabit sipariş maliyeti azaldıkça, verilen sipariş sayısının artması

5. UYGULAMALAR VE SONUÇLAR

Bu bölümde, önerilen çözüm yaklaşımlarının sonuçları ve analizleri sunulmaktadır.

5.1 Mevcut Sistem ile Önerilen Sistemin Monte Carlo Benzetim Modeli

Proje çalışmalarının başlangıcında, mevcut sistemi anlayabilmek amacıyla birçok analiz yapılmıştır. Yapılan bu analizler, şirketin malzeme envanter yönetiminin ihtiyaçlarını karşılayacak olan sipariş büyüklüğü belirleme ve satın alma planlaması algoritması oluşturulmasına katkı sağlamıştır. Açıklanan algoritma oluşturulduktan sonra, çıktıları ile mevcut sistemin, anahtar performans göstergelerine göre karşılaştırılması ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla, şirketin geçmişe ait Malzeme İhtiyaç Planlaması (MİP) verisi olmadığı için ileriye dönük olarak hazırlanmış MİP kayıtlarına dayanarak bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Monte Carlo Benzetim Modeli Matlab® kullanılarak geliştirilmiştir. Dolayısıyla, algoritma ile sipariş onay çizelgelemesi oluşturmak için esnek kaynak kullanımlı malzemeler (112 malzeme kalemi) ile kesin kaynak kullanımlı malzemelerden (465 malzeme kalemi) oluşan bir planlama grubunun (aynı son ürün için kullanılan proje grupları), 2017 ile 2022

yılları arasını kapsayan, yani ileriye dönük MİP kayıtları kullanılmıştır. Benzetim modelinde; malzeme ihtiyaçlarının yanı sıra, mevcut ve önerilen sistemin sipariş onay çizelgeleri, Üssel dağılımlı tedarik süreleri ve maliyet bilgileri kullanılmaktadır. Bu benzetim modeli 5 yıllık (2017-2022 arası) bir planlama ufku ile 45 kez tekrar edilmektedir. Modelin varsayımları aşağıda verilmiştir:

- MİP gereksinimleri ve tedarik süresi parametreleri 5 yıl boyunca değişmemektedir.
- Ortalama toplam maliyet hesaplanırken paranın bugünkü değeri kullanılmaktadır.
- Sipariş onay çizelgelemeleri sürecinde şirketin öğrenme mekanizması göz ardı edilmiştir. Öğrenme mekanizması için örnek vermek gerekirse; teorik tedarik süresi 2 ay olan bir malzemenin ardışık iki siparişinin tedariki 3 ayda gerçekleşiyorsa, bir sonraki sipariş onayı gereksiniminin tarihinden 3 ay öncesine çizelgelenmesidir.

Monte Carlo benzetiminin ana prensibi, sistem davranışlarını tahmin edecek bilgisayar bazlı bir analitik model oluşturmaktır. Model değerlendirilir ve sistem davranışları defalarca tahmin edilir. Her değerlendirme, girdi parametrelerinin rastgele seçilen durumları baz alınarak yapılır. Bu ana prensip ışığında, her sipariş onayı için, sistemdeki rassallığa sebep olan tedarik süresi parametreleri kullanılarak rastgele bir tedarik süresi üretilir. Üretilen rastgele tedarik sürelerine göre, mevcut ve önerilen sistemin her sipariş onayının tedarik benzetimi yapılır. Benzetim modelinin her bir tekrarının sonunda 5 yıl için tüm malzeme kalemlerinin tedariklerindeki geciken tedarik oranları hesaplanır. Her tekrarda bütün sipariş tedariklerinin varış tarihleri belirlendikten sonra, talepler ve tedarik edilen siparişler eşleştirilerek aylık envanter hareketleri oluşturulur. Daha sonra, gelecek 5 yılda her bir malzeme kalemi için, toplam kullanım miktarları ortalama envanter seviyelerine bölünerek envanter devir oranı hesaplamaları yapılır. Ortalama envanter seviyesi ise daha önce açıklanmış olan Riemann Toplamı yöntemi ile hesaplanır. Ayrıca maliyet ile ilgili performans göstergesi olarak; her bir malzeme kalemi için, erken tedariklerin sebep olduğu elde tutma maliyetleri, geç tedariklerin sebep olduğu ceza maliyetleri, sabit sipariş verme maliyetleri ve siparişlerin birleşti-

rilmesinden kaynaklı elde tutma maliyetleri toplanır ve böylece toplam maliyet hesaplanır.

5.2 Anahtar Performans Göstergelerinde Beklenen Sonuçlar

Envanter Devir Oranlarındaki İyileştirmeler

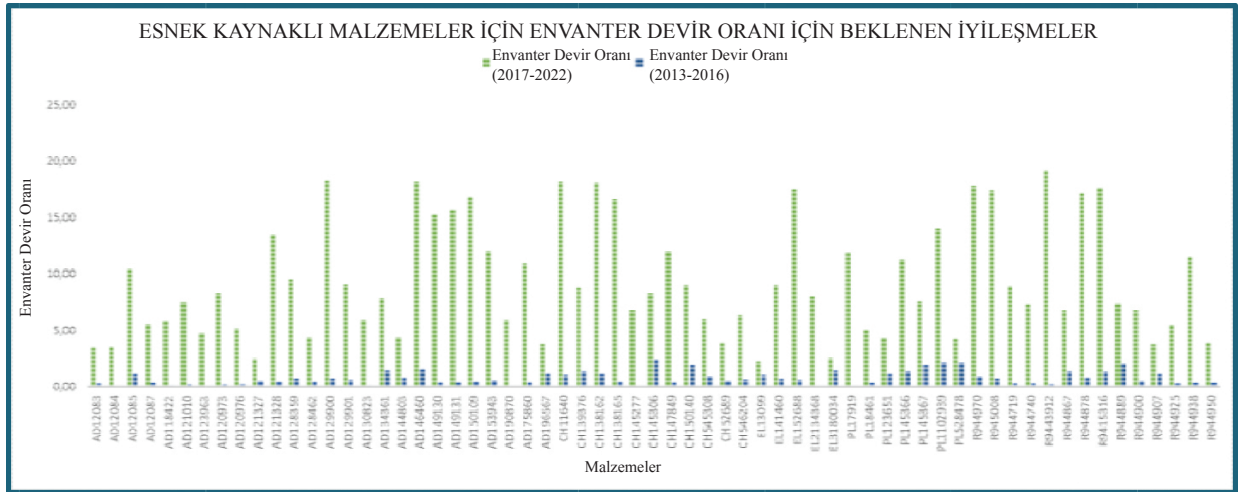
Benzetim modelinin bir sonucu olan ilk performans göstergesi envanter devir oranıdır. Şekil 7, esnek kaynak kullanımlı malzemeler için 45 tekrarlama sonucu elde edilen ortalama envanter devir oranlarının, 2013 ile 2016 yılları arasındaki geçmiş envanter devir oranlarıyla karşılaştırılmasını ve bu malzemeler için envanter devir oranlarındaki beklenen iyileştirmeleri içermektedir. Elde edilen sonuçların geçmiş bilgilerle kıyaslanmasının sebebi; esnek kaynak kullanımlı malzemelerin tedariklerinin çoğunlukla gecikmiş olmasıdır. Öte yandan, eğer geciken tedariklerde yer alan malzemelerin şirkete ulaştığı anda kullanılıp tüketildiği varsayılsaydı, ortalama envanter seviyeleri çok düşük olarak hesaplanırdı ve sonuç olarak şişirilmiş envanter devir oranları elde edilirdi. Şekil 7’de görüldüğü gibi, esnek kaynak kullanımlı malzemelerin hepsinin envanter devir oranlarında yüksek bir artış beklenmektedir. Esnek kaynak kullanımlı malzemelere benzer bir şekilde, kesin kaynak kullanımlı malzemeler için envanter devir oranı karşılaştırmaları Şekil 8’de verilmektedir. Ancak bu defa, karşılaştırmalar 2017 ile 2022 yılları arasındaki hesaplamalara göre yapılmıştır. Bu malzemelerin yaklaşık %95’inin envanter devir oranlarında iyileşme beklenmektedir.

Şekil 7 ve Şekil 8’deki yeşil çubuklar önerilen sistem kullanıldığı takdirde beklenen envanter devir oranlarını gösterirken; lacivert çubuklar esnek kaynak kullanımlı malzemeler için geçmiş envanter devir oranlarını, kesin kaynak kullanımlı malzemeler için ise mevcut sistem ile devam edilmesi durumunda elde edilecek envanter devir oranlarını göstermektedir.

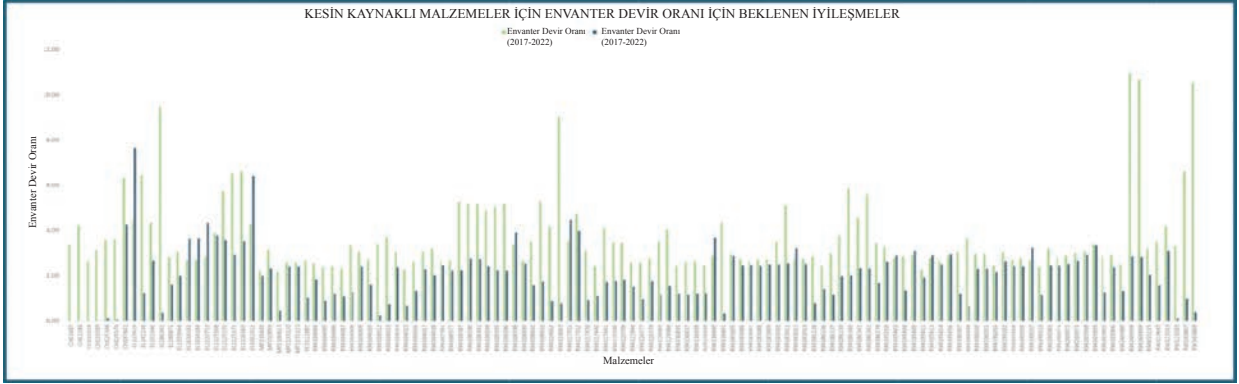
Malzemelerin Geciken Tedarik Oranlarındaki İyileştirmeler

Benzetim modelinin bir diğer sonucu olan performans göstergesi ise geç tedarik oranıdır. Analizi yapılan kesin kaynak kullanımlı malzemelerin mevcut sisteme göre ortalama %25’inin tedarikinde gecikme beklenmektedir. Bu gecikmelerin oransal dağılımı Şekil 9’da görülmektedir. Histogramın yatay ekseninde malzemelerin tedariklerindeki gecikme oranlarının aralığı yer almaktayken, dikey eksen bu aralıklarda bulunan malzeme sayısını göstermektedir. Önerilen sistemde ise 45 tekrarlama sonucunda hiçbir gecikme beklenmemektedir.

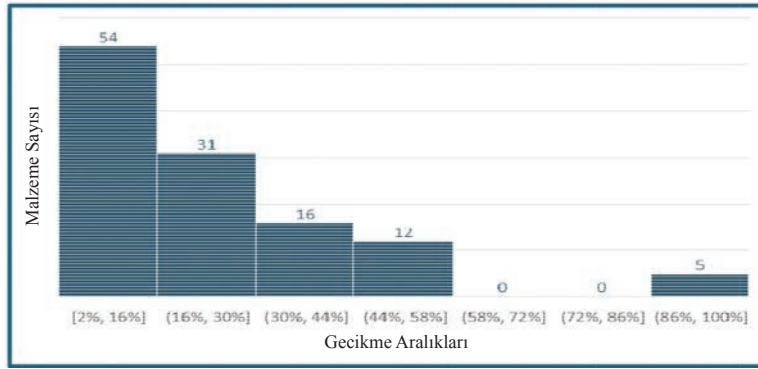
Esnek kaynak kullanımlı malzemelerde ise önerilen sistem malzemelerin yaklaşık %5’inde gecikme beklenmekteyken, mevcut sistemde bu oran %80’i aşmaktadır. Bu gecikmelerin oransal dağılımı Şekil 10’da görülmektedir. Şekillerden görülebileceği üzere, önerilen sistem bir malzemenin tedarikleri için en fazla %21 oranında gecikme oluşturmaktayken mevcut sistemde bu oran %66’dır.



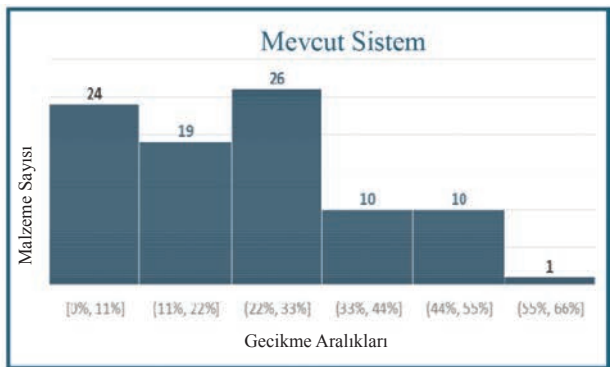
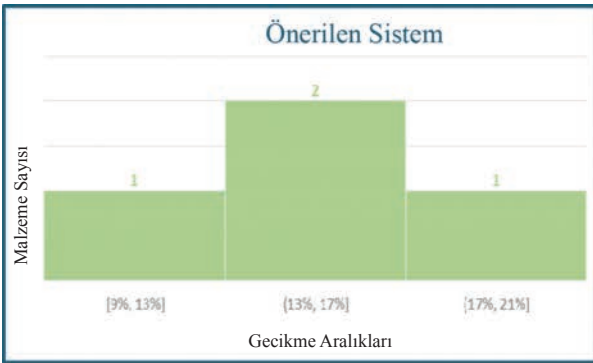
Şekil 7. Esnek Kaynak Kullanımlı Malzemeler İçin Envanter Devir Oranı Karşılaştırması



Şekil 8. Kesin Kaynak Kullanımlı Malzemeler İçin Envanter Devir Oranı Karşılaştırması



Şekil 9. Kesin Kaynak Kullanımlı Malzemelerin Geç Tedarik Oranları Dağılımı



Şekil 10. Esnek Kaynak Kullanımlı Malzemelerin Geç Tedarik Oranları Dağılımı

Toplam Maliyetteki İyileştirmeler

Son sonuç analizi ise maliyetler cinsinden yapılmıştır. Bu analiz için ilk olarak MiniTab® kullanılarak eşlenik *t*-testi yapılmıştır. Yapılan 45 tekrar sonucunda elde edilen mevcut ve önerilen sistem maliyetleri arasındaki

fark alınarak maliyetteki toplam azalma hesaplanmıştır. Ortalama olarak, esnek kaynak kullanımlı malzemelerde %38 oranında (1.233.938,37 \$) bir maliyet düşüşü gözlemlenirken, bu oran kesin kaynak kullanımlı malzemelerde %48 oranında (2.670.069,17 \$) seyretmektedir.

%95 güven aralığı kullanılarak yapılan maliyet düşüşü analizi Tablo 3'te görülmektedir. Her iki malzeme grubu için de "0" değeri, alt limitin de altında kaldığı için sistemde belirgin bir maliyet düşüşü beklenmektedir.

İrilenmesini ve farklı servis seviyelerine göre benzetim yapılmasını sağlamaktadır.

Bu adım tamamlandıktan sonra arayüzün ilk sekmesinde, kullanıcının herhangi bir aciliyet kısıtı girmeksiz

Tablo 3. Mevcut ve Önerilen Sistemlerin Maliyet Karşılaştırması

Esnek Kaynaklı Malzeme		Kesin Kaynaklı Malzeme	
%38 (Maliyette Azalma)		%48 (Maliyette Azalma)	
%95 Güven Aralığı		%95 Güven Aralığı	
Alt Limit	Üst Limit	Alt Limit	Üst Limit
836,653.03 \$	1,631,223.70 \$	2,666,154.15 \$	2,673,984.18 \$

6. UYGULAMA VE KULLANICI ARAYÜZÜ

Proje ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında, yapılan analizler ve önerilen çözümlerin üretim planlama mühendisleri tarafından kolay ulaşılabilir olması amacıyla, geliştirilen çözüm yaklaşımı ile benzetim modellemesinin birlikte içerildiği bir karar destek sistemi sunulmaktadır. Şekil 11'de şematik olarak gösterilen bu karar destek sistemi, ilk işlem olarak şirkette kullanılmakta olan Oracle ERP sisteminden Malzeme İhtiyaç Planını (MİP) alır, ve ardından çözüm yaklaşımlarını Matlab® vasıtasıyla uygular; son olarak kullanıcı, Microsoft Excel VBA ile oluşturulan 3-sekmeli bir arayüz vasıtasıyla istenilen sonuçları görüntüleyebilir.

Bu arayüz, ilk olarak, daha önceki bölümlerde belirtilmiş olan güncel bilgileri kullanarak, Matlab® aracılığıyla uygun sipariş büyüklüğü ile tarihinin be-

zin seçtiği veya kodunu girdiği malzemenin, Malzeme İhtiyaç Planlaması kayıtları dahilinde bulunan bilgiler doğrultusunda;

- uygun sipariş tarihleri,
- üretimdeki gereksinim tarihleri,
- sipariş büyüklüğü ve ölçü birimleri listelenir (Şekil 12).

İkinci sekmede ise kullanıcı, "Planlama Ufku" isimli alana ay bazında bir süre girerek, yalnızca o günden itibaren girilen planlama ufku içerisinde siparişini vermesi gereken malzemeleri listeleyebilmekte ve bu listeden seçtiği malzemenin ilk sekmede bahsedilen bilgilerini görebilmektedir (Şekil 13).

İlk iki sekmede, sol alt köşede yer alan "Bürokratik Süre" isimli alanda ise kullanıcı, Üretim Planlama



Şekil 11. Karar Destek Sisteminin Temsili

Müdürlüğü'nde, Tedarik Direktörlüğü'nde ve bu iki departman arasındaki olası süreyi; proje dahilinde yapılmış olan şirket içi süre analizinden faydalanarak, gün, ay ve/veya yıl biçiminde girerek sipariş tarihinin girilen bu süre kadar öne çekilmesini sağlayabilir ve böylece daha sağlıklı bir sonuç elde edebilir.

Son sekme olan “Simülasyon” (Benzetim) sekmesinde ise kullanıcı, seçtiği veya kodunu girdiği malzemenin, istenen “servis seviyesi”nde oluşabilecek

- envanter devir oranını,
- geç tedarik oranını ve
- kısırlımlı olarak toplam maliyet performansını

inceleyebilmektedir. Servis seviyesi, rassal tedarik süresine sahip malzemelerin zamanında gelip gelmediğini yüzde olarak gösteren bir ölçüdür.

Buna ek olarak, Şekil 14'te de görüldüğü gibi, kullanıcı, belirttiği servis seviyesinde (örneğin 0,95) sergilenen performans bilgilerini pano adlı alana kopyalayarak, aynı malzemenin farklı bir servis seviyesinde (0,85) sergileyeceği performans değerleri ile panodaki bilgileri kıyaslayabilmektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, şirketin mevcut malzeme envanter yönetim sistemi gözden geçirilmiş ve problemler tespit edildikten sonra çözüm yolları aranmıştır. Bu çalışmalar sonucunda da uygun sipariş büyüklüğü ve zamanlamalarını belirlemeye yönelik matematiksel ve sezgisel modeller, malzeme sınıflarının özelliklerini ve tedarikçi kısıtlarını göz önünde bulundurarak geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Geçmiş ve ileriye dönük verilerle yapılan karşılaştırmalar sonucunda önerilen sistemin kritik performans göstergeleri açısından, mevcut sistemden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın ileriki aşamala-



Şekil 12. Kullanıcı Arayüzü İlk Sekme Görünümü



Şekil 13. Kullanıcı Arayüzü İkinci Sekme Görünümü



Şekil 14. Kullanıcı Arayüzü Üçüncü Sekme Görünümü

rında; mevcut incelenen veri setlerinin genişletilip daha kapsamlı çalışmalarda kullanılmasına imkân verilmesi, oluşturulan karar destek sisteminin şirkette etkin kullanılmasıyla ilgili bilgilendirme yapılması önerilir.

KAYNAKÇA

1. **Blackburn, J. D., Robert, A. M.** 1985. "A Methodology for Predicting Single-Stage Lot-Sizing Performance: Analysis and Experiments," *Journal of Operations Management*, vol. 5, p. 433-448.
2. **Freeland, J. R., Colley, J. L.** 1982. "A Simple Heuristic Method for Lot-Sizing in a Time-Phased Reorder System," *Journal of Production and Inventory Management* vol. 23, p. 15-22.
3. **Groff, G. K.** 1979. "A Lot-Sizing Rule for Time Phased Component Demand," *Journal of Production and Inventory Management*, vol. 2, p. 234-251.
4. **Gudum, C. K.** 2002. "On the Distribution of Lead Time Delay in Supply Chains," http://openarchive.cbs.dk/bitstream/handle/10398/6737/preprint5_2002_connie.pdf?sequence=1, son erişim tarihi: 03.03.2017.
5. **Levy, N. S., Ronen, B.** 1989. "Purchasing and Raw Materials Management in Science-based Industries," *Journal of Materials and Product Technology* vol. 4, p. 1-9.
6. **Okhrin, I., Richter, K.** 2011. "The Linear Dynamic Lot Size Problem with Minimum Order Quantity," *International Journal of Production Economics*. vol. 133, p. 688-693.
7. **Ronen, B., Trietsch, D.** 1991. "Optimal Scheduling of Purchasing Orders for Large Projects," *European Journal of Operational Research* vol. 68, p. 185-195.
8. **Silver, E.A., Meal, H. C.** 1973. "A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment," *Journal of Production and Inventory Management*, vol. 14, p. 64-74.
9. **Wemmerlöv, U.** 1983. "The Part-Period Balancing Algorithm and its Look Ahead-Look Back Feature: A Theoretical and Experimental Analysis of a Single Stage Lot-Sizing Procedure," *Journal of Operations Management*, vol. 4, p. 23-40.

BİYOGAZ ENERJİ ÜRETİM TESİSİ İÇİN BİYOKÜTLE LOJİSTİK YÖNETİMİ

Kürşad DERİNKUYU^{1*}, Berke TARAKÇIOĞLU², İrem Melis KOÇ¹, Eren SAZAK¹, Doğaç ZENGİN¹

¹TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
kderinkuyu@etu.edu.tr, iremmelis94@gmail.com, erensazak94@gmail.com, zengin.dogac@gmail.com

²BENDİS Holding A.Ş., Ankara
btarakcioglu@bendisenergy.com

Geliş Tarihi: 02.11.2017; Kabul Ediliş Tarihi: 12.12.2017

ÖZ

Yenilenebilir enerji türlerinden olan biyokütleden biyogaz elde eden elektrik santrali, enerji üretim hedefine ulaşabilmesi için hayvansal atık kullanmakta olup, bunun için çevredeki yaklaşık 150 çiftlikle iş birliğine gitmiştir. Bu çalışmada, tesisin atık ihtiyacını mevcut çiftliklerden taşımak için atık miktarı, çiftlik sayısı ve birbirlerine yakınlığı çoklu amaç fonksiyonları altında incelenmesi yapılmış olup araç sayısı ve her bir aracın günlük rota maliyeti en küçüklenmiştir. Çalışmada bir matematiksel model önerilmiş ve 4 aşamalı bir çözüm geliştirme sezgisel oluşturulmuştur. Sezgiselin ilk aşamasında Fisher ve Jaikumar kümelendirme algoritması modifikasyondan geçirilerek çiftliklerin atık miktarı, çiftlik sayısı ve birbirlerine yakınlık ölçütlerini amaç fonksiyonu olarak ele alan matematiksel bir alt model oluşturulmuştur. Bu ilk modelden elde edilen küme bilgileri doğrultusunda ikinci aşamada her bir küme için Gezgin Satıcı Problemi çözülmüştür. Üçüncü aşamada, ilk iki aşamada elde edilen çıktılar ile birlikte çiftlikler arası mesafe, mesai saatleri ve operasyonel süre kısıtları gözetilerek araç sayısını minimize eden bir alt model geliştirilmiştir. Son aşamada, Çok Yüksek Boyutlu Komşuluk Arama Sezgiseli geliştirilmiştir. İnşa edilen sezgisel, ilk aşamada geliştirme öncesi toplam yolu ortalama %10 civarında azaltmıştır. Çok Yüksek Boyutlu Komşuluk Arama Sezgiseli sonrasında ise ilave olarak %7'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. Son olarak, ihtiyaç duyulan araç sayısında ise %30'luk bir iyileşme sağlanmıştır. Bu iyileştirmelerin sonucunda işçi, araç ve yakıt masrafları olarak yıllık yaklaşık 573.944 TL kazanç sağlanacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, çok amaçlı kümelendirme, çok yüksek boyutlu komşuluk arama sezgiseli, araç rotalama problemi

BIOMASS LOGISTICS MANAGEMENT FOR BIOGAS POWER PRODUCTION FACILITY ABSTRACT

The biogas power plant, which generates energy from biomass, uses animal waste to reach its energy production target, and it has started to collaborate with about 150 farms within the area. In this project, the amount of waste in farms, the number of farms and their proximity to each other are examined under multi-objective functions to transport the waste needs of the plant from the farms, then the number of vehicles and the costs of daily routes of these vehicles are minimized. In this study, a mathematical model is introduced and a 4-step solution development heuristic has been built. In the first stage of the heuristic, by modifying the Fisher and Jaikumar clustering algorithm, a mathematical sub-model which takes the amount of waste of farms, the number of farms and their closeness to each other as objective function is formed. With the cluster information obtained from the first model, the Travelling Salesman Problem was solved for each cluster in the second stage. In the third phase, a sub-model which minimizes the number of vehicles considering the distances between the farms, working hours and operational time constraints is developed in the light of the outputs obtained from the first two phases. At the last stage, Very Large Scale Neighborhood Search algorithm is developed. The heuristic has reduced the total path near 10% in the first stage. After the VLSN Search, an additional 7% decrease is observed. Lastly, 30% reduction is achieved in the number of vehicles. As a result of these improvements, it is predicted that approximately 573.944 Turkish Liras would be gained annually from the cost of labor, vehicle and fuel.

Keywords: Biomass, multi objective clustering, very large scale neighborhood search, vehicle routing problem

* İletişim yazarı

37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda ödül kazanan çalışma ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. GİRİŞ

Dünyada yenilenemez enerji kaynak rezervlerinin azalması insanları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Enerji ithalat kaleminin cari açığın önemli bir kısmını oluşturduğu ülkemizde, sürdürülebilir biyogaz tesisleri kurmak ekonomimiz açısından faydalı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle hem ülke ekonomisi açısından hem de atık bertarafı açısından önem arz etmektedir. Buna ek olarak, artmakta olan kentleşme ile dünya, CO₂ emisyonunun azaltılmasına odaklanmıştır. Bu tesisler karbon ayak izinin azaltılmasında da önemli rol oynamaktadırlar. Bu proje sayesinde biyogaz tesislerinin lojistik maliyetleri azaltılarak değişken elektrik piyasası fiyatlarına karşı yatırımların direnci artırılmış olacaktır. Böylelikle daha fazla yere biyogaz tesisi açılması mümkün olabilecektir.

Projede birlikte çalışılan firma, Türkiye'nin gelişmekte olan enerji talebini ve bununla birlikte dışarı olan bağımlılığı gözlemleyerek İzmir'in Kiraz ilçesinde biyogaz enerji santrali kurma kararı almış ve bununla ilgili çalışmalarını 2014 yılında başlatmıştır. Santralin, bir tanesi 2,4 MW kurulu güce sahip olmak üzere 2 adet kojenaratör ile çalışması planlanmaktadır. Bu da günlük 53 MWh elektrik enerjisi üretilmesini sağlayacaktır. Tesisin konumuna karar veren firma 2019 yılında tesisi devreye almayı planlamaktadır. Hedeflenen elektrik enerjisinin elde edilmesi için günlük yaklaşık 500 ton atığın tesise taşınması gerektiği firma yetkilileri tarafından iletilmiştir. Bu amaçla tesisin yakın çevresindeki büyükbaş ve küçükbaş hayvan çiftlikleriyle anlaşmalar imzalanmaktadır. Mevcut durumda anlaşma imzalanmış 150 çiftlik bulunmaktadır. Şirket, çiftlik sahiplerinin ve biyogaz üretim tesisinin talepleri karşılanacak şekilde atıkların toplanmasını ve tesise ulaştırılmasını planlamak istemektedir. Atık taşıyacak araçların iyi rotalanması hem enerji üretim sürekliliğini sağlamak hem de tesisin işletim maliyetlerini azaltmak açısından önemlidir.

Bu çalışmada, 4 aşamalı yeni bir çözüm yöntemi geliştirilmiş, Çok Amaçlı Kümelendirme modeli önerilmiş ve Çok Yüksek Boyutlu Komşuluk Arama Sezgiseli

hayata geçirilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla, geliştirilen bu yöntem literatürde bir ilk olmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde kaynakça taraması yapılmış; probleme çözüm yöntemleri geliştirmek amacıyla incelenen benzer akademik çalışmalara ve tesisin ülkeye sağlayacağı katkılar konusunda yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, firmanın beklenti ve şikâyetleri açıklanarak mevcut sistemin yapısından bahsedilmiştir. Yapılan SWOT analizi ile sistemin güçlü ve zayıf yanları ile tehdit ve fırsatları ele alınmıştır. Dördüncü bölümde, problemin geniş tanımı yapılarak toplanan verilere ve problemin tasarımını etkileyen faktörlere değinilmiştir. Beşinci bölümde ise önerilen çözüm yöntemlerinden bahsedilmiş olup kullanılan metotlara değinilmiş, geliştirilen matematiksel ve sezgisel modeller detaylı olarak anlatılmıştır. Son olarak, projenin firmaya getireceği katkıları daha iyi gözlemleyebilmek için yapılan analizler değerlendirilmiş ve ileriye yönelik öneriler verilmiştir.

2. KAYNAKÇA TARAMASI

Çalışma kapsamında araç rotalama problemlerinin genel özellikleri, çözüm yöntemleri, biyokütle taşınması ve Türkiye'de kullanılan enerji kaynakları arasında biyokütlelenin yeri konularında taramalar yapılmıştır.

2.1 Araç Rotalama Problemleri

Araç rotalama probleminin Dantzing ve Ramser (1959) tarafından 1959 yılında temellerinin atılmasından sonra pek çok araç rotalama optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Paolo ve Vigo (2014), araç rotalama problemlerinin genel özelliklerini turu başladığı noktada tamamlaması, araçların her müşteriye o turda sadece bir kez uğraması, aracın kapasite sınırının oluşu ve minimum maliyeti hedeflemesi olarak tanımlamışlardır. Bizim çalışmamızda bunlara ek olarak, araçlar günde birden fazla tur yapabilmektedir. Üzerinde çalıştığımız probleme yakınlığı sebebiyle, Akça vd. (2012) tarafından yapılan periyodik araç rotalama çalışması da incelenmiştir. İlgili çalışmada, biyodizel üretiminde kullanılacak atık yağların toplanması rotalanmaktadır.

Kumar ve Panneerselvam'ın (2012) makalesinde, araç rotalama problemlerinin, NP-Zor problemler olması sebebiyle değişken ve kısıt sayılarına göre değişiklik göstermekle birlikte, 50-100 noktalık bir kapasite sınırı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle büyük boyutlu araç rotalama problemlerinin çözümü için kısa sürede kabul edilebilir sonuçlar veren sezgisel algoritmalar üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisinde Bodin ve Sniezek (2006), 500 nokta ve 4 farklı çeşitte 10 adet araç ile kurdukları araç rotalama probleminden matematiksel programlama ile makul sürede sonuç alamamışlar ve bu da onları problemi parçalara ayırarak çözmeye yönlendirmiştir. Çalışmada ilk olarak, kümelendirme yöntemlerinden birisi olan K-Ortalama kullanılmıştır. K-Ortalama algoritması, her bir noktayı belirlenen merkezlere en yakın olan kümeye atamaktadır. Her bir nokta yalnızca bir kümeye ait olabilmektedir. Yine bir başlangıç çözümü oluşturmak amacıyla Fisher ve Jaikumar'ın (1981) geliştirdiği kümeleme tekniğinden yola çıkılarak farklı kümeler oluşturulmuştur.

2.2 Dünyada Biyogazın Yeri

Kaygusuz ve Şekerci (2016), biyogazı temel olarak organik maddelerin oksijensiz ortamda fermente elde edilmesi sonucu karbondioksit ve metan gazına dönüştürülmesi olarak tanımlamışlardır. Biyogaz üretiminde organik atıklar, hayvansal gübreler ve endüstriyel atıklar kullanılmaktadır. Toklu (2017) makalesinde, Türkiye'nin biyokütle potansiyelini analiz etmiş ve 1 adet büyükbaş hayvandan 1 yılda 3,6 ton, 1 adet küçükbaş hayvandan 0,7 ton ve 1 adet kümes hayvanından 0,022 ton yaş gübre elde edildiğini belirtmiştir. 1 m³ biyogaz 4700- 5700 kcal/m³ ısı sağlamakta ve bu aynı zamanda 4.70 kWh elektrik enerjisine, 0.66 litre motorine, 0.75 litre benzine ve 0.25 m³ propana eşdeğer yakıt miktarıdır (EİE 2017).

Dünyada 1 yılda üretilen biyokütle miktarı yaklaşık 146 milyar metrik tondur. Başka bir deyişle, biyokütle miktarı birincil enerji kaynaklarının %35'ini oluşturmaktadır. Buna karşılık gelişmiş ülkelerde toplam enerji tüketiminin yalnızca %5'i biyokütleden karşılanmaktadır (World Energy 2017). Türkiye'nin büyük petrol ve doğalgaz rezervlerine sahip olmaması nedeniyle enerji ihtiyacının büyük bir kısmı ithal edilmektedir. Oysaki

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli coğrafi konumu nedeniyle oldukça yüksektir. Buna rağmen, elektrik üretiminde biyogaz ve biyokütlenin kullanımı %2'yi geçmemektedir (EPIAŞ 2017).

3. MEVCUT SİSTEMİN ANALİZİ

3.1 Firma Beklentileri

Firmanın beklentisi; günlük atık ihtiyacının çevredeki çiftliklerden, belirlenen kısıtlara uygun olarak ve lojistik maliyetlerini minimize ederek, en verimli şekilde toplanmasıdır. Bu amaçla atık taşıyacak araçların sayısının, kapasitelerinin ve rotalarının belirlenmesi gerekmektedir. Araçların rotaları belirlendikten sonra bu araçların ortalama yakıt tüketimleri de hesaba katılarak ortalama günlük maliyet belirlenecektir.

3.2 Mevcut Sistemin Yapısı

Kurulacak olan biyogaz tesisinin günlük 54 MWh üretim yapması beklenmektedir. Bu üretimin gerçekleştirilebilmesi için tesiste her gün yaklaşık 500 ton atık işlenmesi gerektiği ön görülmüştür. Bu hedef doğrultusunda anlaşmaya varılan 150 çiftlikte bulunan atıklar her gün toplanarak tesise getirilecektir. Çalışmanın amacı ise tesise ulaştırılan günlük atık miktarının sürekliliğinin sağlanması ve bunu sağlayacak araçların maliyetleri en küçükleyecek şekilde rotalarının oluşturulmasıdır. Sistemi daha iyi anlamak amacıyla SWOT Analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda, sistemin güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditleri irdelenmiş ve elde edilen veriler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Sistemin günlük rutinine baktığımızda, şoförler ve tesis yöneticisi rotalara gün başında veri tabanından ulaşırlar. Sistem belirlenen sayıda araçla ve hali hazırda her gün çalışan şoförlerle birlikte belirlenen rotalar takip edilecek şekilde çalışmaya başlar. Bu sisteme göre, her bir şoföre atanmış belirli çiftlik kümeleri vardır. Her tur tesiste başlar. Kümesinde bulunan bütün çiftliklere uğrayan kamyonlar tekrar tesise döner ve rotalar tesiste son bulur. Kamyonların atandığı çiftlik kümeleri, şoförlerin mesai saatleri ve toplama işlemleri için gereken süre göz önünde bulundurularak oluşturulur.

Tablo 1. SWOT Analizi

GÜÇLÜ YÖNLER	ZAYIF YÖNLER
<p>-Çiftliklerin atıklarını bertaraf etme zorunluluğu bulunduğu için sistemin sürekliliğinin sağlanmasının diğer kaynaklara göre daha kolay olması</p> <p>-Devletin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrige satın alım garantisi sunması ve Gün Öncesi Piyasası Piyasa Takas Fiyatından daha yüksek bir bedel ile satın alması</p>	<p>-Hayvan atıklarının taşınması sırasında karşılaşılan zorluklar</p> <p>-Yakıt olarak kullanılan hayvansal atıkların kalorifik değerlerinin değişken olması sebebiyle sistemde açığa çıkan aksaklıklar</p>
FIRSATLAR	TEHDİTLER
<p>-Çalışma süresi esnasında oluşacak kamuyla iş birliği olanakları</p> <p>-Enerji üretimi sonrası kalan atığın yeniden kullanılabilme imkânı</p> <p>-Hayvancılık sektörünün gelişmesi</p>	<p>-Verimsiz atık oranının artması durumunda enerji üretiminin durma sınırına gelebilmesi</p> <p>-Atık lojistiği sırasında bulaşıcı hastalıkların baş göstermesi durumunda hayvan eksikliği sebebiyle tesisin atık talebinin karşılanamaması</p> <p>-Teşviklerin yüksekliği nedeniyle rakip santrallerin kurulması</p>

4. PROBLEM TANIMI

Şirket İzmir’inde Kiraz ilçesinde kurulacak olan biyogaz tesisinin yerine karar vermiş ve yapımına başlamıştır. 2019 yılında faaliyete geçmesi planlanan biyogaz santrali enerji üretim hedeflerine ulaşabilmek için günlük yaklaşık 500 ton atığa ihtiyaç duymaktadır. Bu talebi karşılamak amacıyla, şirket çevredeki mevcut çiftliklerle anlaşma imzalayarak, çiftliklerden çıkan atıkların toplanmasını garanti altına almaya çalışmaktadır.

Lojistik faaliyetleri genel olarak işletmenin yerinin seçilmesi, ürünlerin depolanması ve paketlenmesi, stokların talep ve siparişlerin yönetilmesi, nakliye ve dağıtım faaliyetlerini kapsamaktadır. Bütün bu lojistik faaliyetlerinin %50’sini nakliye ve dağıtım faaliyetleri oluşturur. Bu maliyetleri en küçüklemek amacı ile filo büyüklüğünün belirlenmesi ve bu filodaki araçların yıl boyunca takip edeceği rotaların hazırlanması çalışma kapsamında araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, her gün 150 çiftliğe uğranarak 500 ton atık toplanmasını sağlayacak şekilde araçların sayısı ve bu araçların kapasiteleri belirlenmiş olup ayrıca günlük rotaları oluşturulmuştur. Bunlara ek olarak araç sayısı ve araçların rotalarına karar verildikten sonra, firmanın çıktılarını kullanmasını kolaylaştırmak amacıyla Microsoft Office Access programı ile ara yüz veritabanı tasarlanmıştır.

5. ÖNERİLEN YÖNTEM

5.1 Genel Yaklaşım

İlk olarak, belirlenen kısıtlar doğrultusunda mümkün olan en kısa yolu katetmeyi hedefleyen tam sayılı araç rotalama problemi için matematiksel model oluşturulmuştur. Problemin NP-Zor olması nedeniyle oluşturulan matematiksel model makul sürede sonuç vermemektedir. Ayrıca, firma ticari en iyileme yazılımlarından birine sahip olmadığından bu programlardan birinin kullanılması şirkete ek maliyete neden olacaktır. Bu nedenler ile sezgisel yaklaşıma ihtiyaç duyulmuş ve 4 aşamalı bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. İlk aşamada Fisher ve Jaikumar kümelendirme algoritması modifikasyondan geçirilerek çiftliklerin atık miktarı, çiftlik sayısı ve birbirlerine yakınlık ölçütlerini amaç fonksiyonu olarak ele alan matematiksel bir alt model oluşturulmuş ve optimal olarak çözülmüştür. Bu ilk modelden gelen küme bilgileri doğrultusunda ikinci aşamada her bir küme için Gezgin Satıcı Problemi çözülmüştür. Üçüncü aşamada, ilk iki aşamada elde edilen çıktılar ile birlikte çiftlikler arası mesafe, mesai saatleri ve operasyonel süre kısıtları gözetilerek araç sayısını minimize eden bir alt model geliştirilmiştir. Son aşamada ise çok yüksek boyutlu komşuluk araması ile ilk üç aşamada elde edilen çözüm kalitesi iyileştirilmiştir.

5.2 Geliştirilen Modeller ve Çözüm Yöntemleri

Şirketin taleplerini karşılayacak doğrultuda matematiksel model oluşturulmuştur. Matematiksel model bu aşamada yalnızca planlanan zaman ufkunda kat edilecek yolun en küçüklenmesi üzerine kurulmuştur. Model, temel anlamda her gün her turda her kamyonun biyogaz enerji üretim tesisini terk edip, çiftliklerde bulunan atıkları toplanmasını ve tesise geri dönmesini sağlar. Tur esnasında taşıdığı yük parametre olarak tanımlanan kapasite miktarını hiçbir zaman aşamaz ve şirketin isteği doğrultusunda bütün tesisler her gün ziyaret edilmelidir. Model her gün bu kısıtlar altında yapılması gereken rotayı belirlemektedir.

5.3 Matematiksel Model

Problem tanımlanırken ilk olarak gün, tur, kamyon ve çiftlik sayılarının kümeleri oluşturulmuştur. Her bir kamyon sabit c_k kapasitesine sahiptir. Her bir çiftliğin birbirlerine ve tesise olan uzaklığını d_{ij} parametresi gösterir. Her çiftlikten günlük w_{jl} kadar atık çıkar. Amaç fonksiyonu G , gün boyunca kamyonların her turda kattıkları turların toplam mesafesinin en küçüklenmesini sağlar.

Aşağıdaki kısıtları gözeterek;

$$Z_{ktl} \leq c_k \quad \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^A \sum_{t=1}^B Z_{ktl} = \sum_{j=1}^F w_{jl} \quad \forall l \in G \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^F X_{0jktl} = 1 \quad \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^F X_{i0ktl} = 1 \quad \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^F X_{ijktl} = \sum_{i \neq j}^F X_{jiktl} \quad \forall i \in F, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (5)$$

$$Y_{jktl} + c_k \geq c_k X_{ijktl} + Y_{iktl} + w_{jl} \quad \forall i \in F, \forall j \in D, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^F \sum_{k=1}^A \sum_{t=1}^B X_{ijktl} \leq 1 \quad \forall j \in D, \forall l \in G \quad (7)$$

$$Z_{ktl} \geq Y_{jktl} \quad \forall i \in F, \forall j \in D, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^F \sum_{j=1}^F X_{ijktl} w_{jl} = Z_{ktl} \quad \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (9)$$

$$Y_{jktl} \leq M \sum_{i=0}^F X_{ijktl} \quad \forall j \in D, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (10)$$

$$X_{ijktl} \in \{0, 1\}, Y_{jktl}, Z_{ktl} \geq 0 \quad \forall i, j \in D, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (11)$$

Modelin indisleri şu şekildedir:

$G = \{1, \dots, G\}$ Günlerin Kümesi

$B = \{1, \dots, B\}$ Turların Kümesi

$A = \{1, \dots, A\}$ Kamyonların Kümesi

$F = \{0, \dots, F\}$ Çiftliklerin Kümesi

$D = \{1, \dots, D\}$ Depo Dahil Çiftliklerin Kümesi

Modelin parametreleri şu şekildedir:

c_k $k \in A$ kamyonunun kapasitesi

d_{ij} $i \in F$ çiftliğinin $j \in D$ çiftliğine olan uzaklığı

w_{jl} $j \in D$ çiftliğinde $l \in G$ gününde bulunan gübre

M kamyon kapasitesinden büyük bir sayı

Modelin karar değişkenleri şu şekildedir:

X_{ijkl} $i \in F$ çiftliğinden $j \in D$ çiftliğine $k \in A$ aracı $t \in B$ turunda $l \in G$ gününde gidiyorsa bir değerini alır, yoksa sıfır olur,

Y_{jktl} $l \in G$ gününde $k \in A$ kamyonu $t \in B$ turunda $j \in D$ çiftliğinden çıkarken taşıdığı gübre miktarı

Z_{ktl} $l \in G$ gününde $k \in A$ kamyonun $t \in B$ turunda topladığı toplam atık miktarı

Modelin amaç fonksiyonu;

$$\text{en azla} \sum_{i=0}^F \sum_{j=1}^F \sum_{k=1}^A \sum_{t=1}^B \sum_{l=1}^G X_{ijktl} d_{ij}$$

- *Araç kapasite kısıtı* (1): Z_{klt} her turda her kamyon ve her gün için kamyonun depoya dönerken topladığı kümülatif atık miktarını gösteren karar değişkenidir. Karşılık gelen Y_{jktl} değişkeninin maksimum miktarına eşittir. Kısıt, kamyon kapasitesinin aşılmamasını sağlar.

- *Günlük talep kısıtı* (2): Kısıt her gün tesise girmesi gereken atık miktarını ifade eder.

- *Aracın tesisi terk etmesini sağlayan kısıt* (3): Kısıt her gün her kamyonun her turda tesisi terk etmesini garanti eder.

- *Aracın tesise geri dönmesini sağlayan kısıt* (4): Kısıt her gün her kamyonun her turda tesise geri dönmesini garanti eder.

- *Flow in flow out kısıtı* (5): Kısıt aracın herhangi bir tesise girdiğinde o tesisten ayrılmasını sağlar.

- *Miller-Tucker-Zemlin kısıtı* (6): Kısıt alt turların oluşmasını engellerken aynı zamanda aracın tesisten ayrılırken içinde bulundurduğu atık miktarını kümülatif karar değişkenine yansıtır.

- *Ziyaret sayısı kısıtı* (7): Kısıt her gün herhangi bir çiftliğe en fazla bir kez uğranabilmesini sağlar.

- Çiftliklerde bulunan bütün atıkların toplanmasını sağlayan kısıtlar (8), (9): Bir çiftlikten çıkarken kamyon-

da bulunan atık miktarının o çiftlikte bulunan miktara eşit ya da o miktardan daha fazla olmasını sağlar. Aynı zamanda kamyonun bulunan atık miktarı da kümülatif olarak artar.

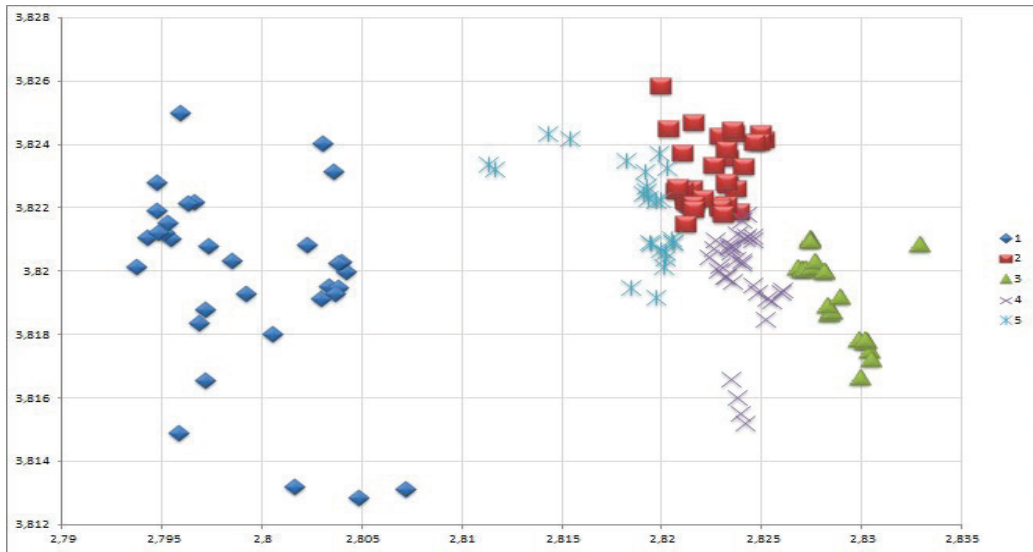
- *Rotada olmayan çiftlikten atık toplanmamasını sağlayan kısıt* (10): Çiftlikten ayrılırken kamyonun topladığı atık miktarını o tesise uğranmamışsa sifira eşitler.

5.4 Sezgisel Model

Sezgisel model geliştirme aşamasında problem ilk önce kümelere ayrıştırılmış, sonrasında ise çok yüksek boyutlu komşuluk araması ile bu küme atamaları iyileştirilmiştir. Ayrıca, her bir küme için ne kadar araç kullanılması gerektiğine dair bir model zaman ve kapasite kısıtları altında oluşturulmuştur.

5.4.1 Kümeleme Yöntemi

Problem boyutunun küçültülmesi amacıyla çiftlikler K-Ortalama metodu kullanılarak 5 kümeye ayrılmıştır. Bu amaçla ilk adımda rastgele 5 tane merkez belirlenmiştir. Her çiftliğin bu merkezlere olan öklid uzaklıkları hesaplandıktan sonra bu çiftlikler kendisine en yakın olan merkeze ait kümeye atanır. Daha sonra, merkezler tekrar hesaplanarak çiftlikler merkezlere uzaklıklarına göre yeniden kümelere ayrılır. Bu işlemler değişiklik gözlemlenmeyene kadar devam eder. K-Ortalama me-



Şekil 1. K-Ortalama Sonucu Kümeler

totu ile oluşturulan kümelerin harita görünümüne Şekil 1’de yer verilmiştir.

K-ortalama metodu ile oluşturulan kümeler modelin uygun zamanda sonuç vermesi için yeterli büyüklüğe indirgenememiştir. Bu nedenle Fisher ve Jaikumar algoritması kullanılarak mevcut çiftlikler, araç kapasitesi ve çiftliklerden çıkan atık miktarları dikkate alınarak kümeleme yöntemi elden geçirilmiş ve oluşan her bir kümenin diğerlerinden bağımsız olarak çözülebilmesi sağlanmıştır. Böylece araç rotalama problemlerinin nispeten çözümü daha kolay olan gezgin satıcı problemine (GSP) indirgenerek çözüme ulaşılabileceği gösterilmiştir. Araçların kapasitesi ve günlük toplam atık miktarı göz önünde bulundurularak sistem 15-25 adet kümeye ayrılmış; sonuçlar analiz edildiğinde, 15-18 adet küme için olurlu sonuç vermezken en iyi sonucun 19 kümeye ayrılması olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle problemin devamında küme sayısı 19 kabul edilmiştir.

GSP ile çözülebilen kümelerin her biri oluşturulurken Fisher ve Jaikumar algoritmasından yola çıkılarak mevcut probleme ihtiyaçlar doğrultusunda uyarlanmış bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın adımları şu şekilde sıralanabilir:

1. İlk olarak, haritadaki bütün çiftliklerin içinden oluşturulmak istenen küme sayısı kadar referans noktası seçilir. Bu referans noktaları tesise en uzak uç noktalardan seçilmiştir.
2. Karar verici her bir kümede yaklaşık olarak kaç eleman ve kaç ton çıktı olması gerektiğini belirler.
3. Modelde referans alınan çiftliklerin numaraları “Referans Noktaları Kümesi” olarak belirlenen kümeye eklenir.
4. Çıktı analizinde her bir referans noktasına ait kümenin toplam çıktıları ve her bir kümenin sahip olduğu tesis sayıları incelenir.
5. Karar vericinin isteği doğrultusunda toplam atık

miktarı ve tesis sayılarının eksik veya fazla olmaları önemine göre değişik katsayılar ile cezalandırılarak modelde istenen kümeler oluşturulur.

Modelin indisleri şu şekildedir:

$F = \{1, \dots, F\}$ Çiftliklerin Kümesi

$R = \{1, \dots, R\}$ Referans Alınan Çiftliklerin Kümesi

Modelin parametreleri şu şekildedir:

$d_{ij} \ i \in F$ çiftliğinin $j \in D$ çiftliğine olan uzaklığı

$w_i \ i \in F$ çiftliğinde bulunan gübre

K_1 Herhangi bir kümede hedeften eksik tesis sayısının önem katsayısı

K_2 Herhangi bir kümede hedeften fazla tesis sayısının önem katsayısı

K_3 Herhangi bir kümede hedeften eksik atık bulunmasının önem katsayısı

K_4 Herhangi bir kümede hedeften fazla atık bulunmasının önem katsayısı

T Bir kümede bulunması hedeflenen tesis sayısı

A Bir kümede bulunması hedeflenen toplam atık miktarı

Modelin karar değişkenleri ise şu şekildedir:

$X_{ir} \ i \in F$ çiftliği referans noktası $r \in R$ çiftliği olan alt kümeye atandıysa bir değerini alır, yoksa sıfır

$Ek_r \ r \in R$ alt kümesinde eksik olan çiftlik sayısı

$Fa_r \ r \in R$ alt kümesinde fazla olan çiftlik sayısı

$Ekg_r \ r \in R$ alt kümesinde eksik olan atık miktarı

$Fag_r \ r \in R$ alt kümesinde fazla olan atık miktarı

Modelin amaç fonksiyonu;

$$\text{en azla} \sum_{i=1}^F \sum_{r=1}^R X_{ir} d_{ir} + K_1 \sum_{r=1}^R Ek_r +$$

$$K_2 \sum_{r=1}^R Fa_r + K_3 \sum_{r=1}^R Ekg_r + K_4 \sum_{r=1}^R Fag_r$$

Aşağıdaki kısıtları gözeterek;

$$\sum_{j=1}^F X_{ir} + Ek_r + Fa_r = T \quad \forall r \in R \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^F X_{ir} w_i + Ekg_r + Fag_r = A \quad \forall r \in R \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^R X_{ir} = 1 \quad \forall i \in F \quad (14)$$

$$X_{rr} = 1 \quad \forall r \in R \quad (15)$$

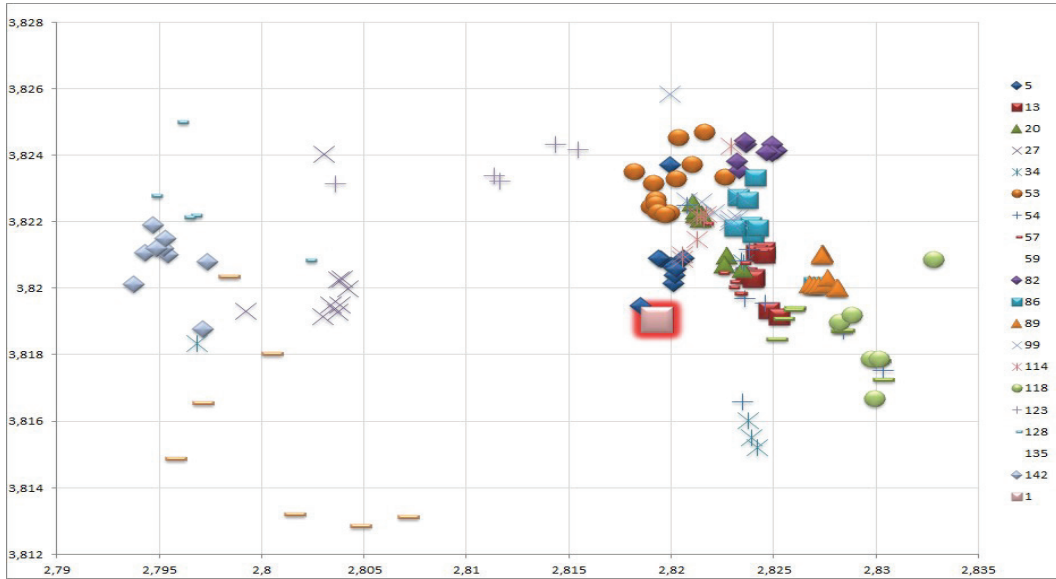
$$X_{ir} \in \{0, 1\}, Ek_r, Fa_r, Ekg_r, Fag_r \geq 0 \quad \forall i \in F, \forall r \in R \quad (16)$$

İlk kısıt, hedeflenen tesis miktarından az ya da fazla olmasını cezalandırırken, ikinci kısıt ise hedeflenen atık miktarından sapmaları cezalandırmaktadır. Amaç fonksiyonumuz hem mesafeyi hem de cezaları en azlamaya çalışmaktadır.

Probleme özel modelde, şirket tarafından “*Ek*” ve “*Fa*” karar değişkenlerinin önem katsayıları 50, “*Ekg*” karar değişkeninin önem katsayısı 100 ve “*Fag*” karar değişkeninin önem katsayısı 500 olarak belirlenmiştir. Atık miktarının araç kapasitesinden fazla olması durumu başka alt kontratları da etkilediğinden pahalı bir yöntemdir ve bu yüzden cezai önem katsayısı yüksek verilmektedir.

olası tüm komşular işleme alınmıştır. Her bir komşuluk aramasında eğer tanımlı genişletip ilgili çözüm çevresi kombinasyon olarak artacak şekilde oluşturulmuş ise veya oluşan komşuluk problemi bir NP-Zor probleme dönüşmüş ise uygulanan çözüm yöntemi literatürde çok yüksek boyutlu komşuluk araması (VLSN) olarak isimlendirilir. Bizim komşuluk aramamız her bir adımda GSP çözdüğünden bir VLSN yöntemidir.

Oluşturulan algoritma önceden oluşturulan 19 kümeyi girdi olarak alır. Buna ek olarak, mesafe matrisi ve çiftliklere ait atık miktarı tablosu da algoritma tarafından tutulur. İlk olarak her küme için GSP çözülüp, toplam mesafesi en az olan rota çıktı olarak elde edilir. Ardından

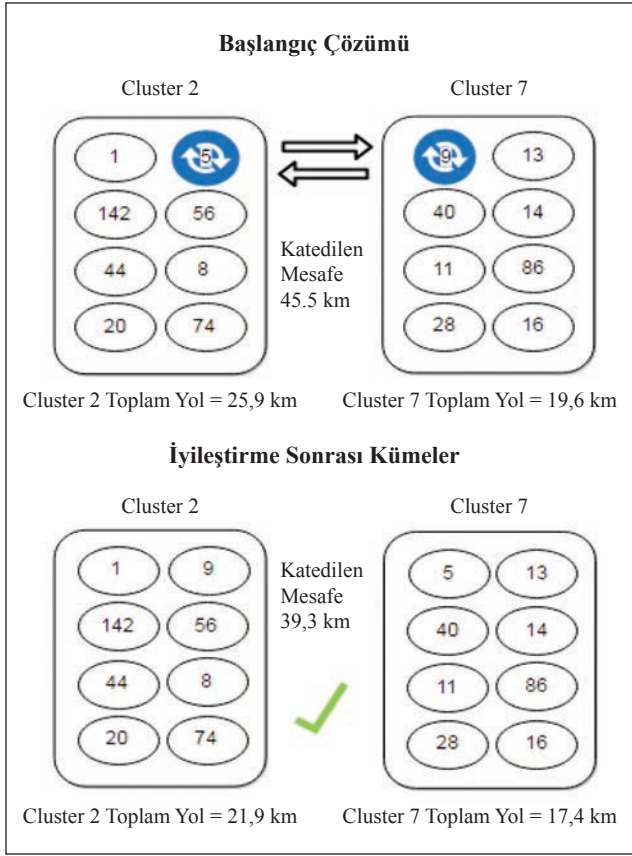


Şekil 2. Fisher ve Jaikumar Metodu ile Oluşturulan Kümeler

5.4.2 Küme İyileştirme Algoritması

Komşuluk arama algoritması mevcut problemi çözmek için kullanılan etkili bir yaklaşımdır. Mevcut çözümde, en yaygın kullanılan metot olan ikili yer değiştirme komşuluk araması algoritması kullanılmıştır. Komşuluk arama algoritması olurlu bir çözüm ile başlar, durma kriteri sağlanana kadar yer değiştirme işlemleri yapılır ve iyileştirilmiş çözümler elde edilir. Literatürde görülen komşuluk arama algoritmaları genellikle küçük çaplı komşu tanımlarında kullanılmış ve

seçilen küme ile diğer kümeler arasında karşılıklı olarak iki çiftliğin yerleri değiştirilir. Bu değişim sırasında araçların kapasite sınırları kontrol edilir. Her değiştirme işleminde değişiklik yapılan kümelerin rotaları tekrar hesaplanır. Sonuç, orijinal kümelerin rotasından daha kısa olup, kapasite sınırını aşmıyor ise değişiklik kaydedilir. Böylece yeni kümeler oluşmuş olur. Yeni oluşmuş kümeler için yeni iyileştirmeler gözlemlenmeye kadar işlem tekrarlanır. Oluşturulan algoritmanın akış şeması Ek-1’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Algoritmanın Şematik Gösterimi

5.4.3 Araç Atama Modeli

Kamyonları kümelere atayan matematiksel model, zaman kısıtını aşmadan bir gün içinde bütün çiftliklere uğrayabilecek en az kamyon sayısının bulunmasını sağlar ve aynı zamanda hangi kümelerin hangi kamyonlara atandığını belirler.

Modelde, her kümede her çiftliğe uğranıp tesise geri dönecek şekilde bulunan optimal turların mesafeleri, her küme için araç sayıları ve her kümeden çıkan toplam atık miktarları parametre olarak alınmıştır. Kullanılabilecek maksimum kamyon sayısı 50 olarak belirlenmiştir.

Modelin indisleri şu şekildedir:

$T = \{1, \dots, T\}$ Kümelere atanabilecek kamyonların kümesi

$C = \{1, \dots, C\}$ Alt kümelerin kümesi

Modelin parametreleri şu şekildedir:

m_c $c \in C$ kümesindeki toplam mesafe

g_c $c \in C$ kümesinden çıkan toplam gübre miktarı

s_c $c \in C$ kümesindeki tesis sayısı

h_t $t \in T$ kamyonunun ortalama hızı

w günlük mesai saati (sa)

v birim atığın toplanma hızı (ton/sn)

d işleme hazırlık sırasında geçen süre (sa)

Modelin karar değişkenleri ise şu şekildedir:

X_{tc} $t \in T$ kamyonu $c \in C$ alt kümesine atandıysa bir değerini alır, yoksa sıfır

V_t $t \in T$ kamyonu kullanılmış ise bir değerini alır, yoksa sıfır

Modelin amaç fonksiyonu;

$$\text{en azla } \sum_{t=1}^T V_t$$

Aşağıdaki kısıtları gözeterek;

$$\sum_{t=1}^T X_{tc} = 1 \quad \forall c \in C \quad (17)$$

$$\sum_{c=1}^C X_{tc} \left(\frac{m_c}{h_t} + v g_c + d s_c \right) \leq w \quad \forall t \in T \quad (18)$$

$$V_t \geq X_{tc} \quad \forall c \in C, \forall t \in T \quad (19)$$

$$X_{tc}, V_t \in \{0, 1\} \quad \forall c \in C, \forall t \in T \quad (20)$$

X_{tc} karar değişkeni t kamyonu c numaralı kümeye atandıysa 1, diğer durumda 0 alan bir (1,0) değişkenidir. V_t ise t kamyonu herhangi bir kümeye atandıysa 1 değerini, diğer durumda 0 değerini alan karar değişkenidir. Amaç fonksiyonunda kullanılması gereken toplam kamyon sayısının en küçüklenmesi hedeflenmiştir.

Birinci kısıt her kümenin mutlaka bir kamyon tarafından ziyaret edilmesini sağlar. İkinci kısıt bir şoförün günlük çalışma saati olan 10 saatten fazla çalışmayacağını belirtir. Kamyonun hareket hızı ortalama 35 km/saat olarak kabul edilmiştir. Bir kamyonun çiftliğe vardığında atık alımı için hazırlanması ve atık toplama hızı ilgili katsayılarla bu zaman kısıtına entegre edilmiştir. Üçüncü kısıt ise bir kamyon bir kümeye atandıysa o kamyonun kullanılmak zorunda olmasını açıklar.

5.5 Veritabanı

Yukarıda bahsedilen bütün çalışmalar sonucunda elde edilen araç sayısı ve rota bilgileri bu araçların

günlük rotaları belirlendikten sonra elde edilen veriler veritabanına aktarılmıştır. Bunun yanında, oluşturulan veritabanı anlaşma yapılan bütün çiftliklere ait detaylı bilgilere ve aynı zamanda şoför bilgilerine ulaşılabilir şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, bu veritabanı sayesinde şoför ve çiftlik bilgilerinde gerektiği zaman güncellemeler yapılabilmektedir.

Veritabanının ana sayfasında iki ayrı kullanıcı girişi bulunmaktadır. Araç sürücüleri, araç sürücü girişine tıklayıp kendilerine önceden atanmış olan şoför numaralarını girerek kendilerine ait olan rotaya ulaşırlar. Yetkili girişi kısmında ise “Şoför Bilgileri”, “Araç Bilgileri”, “Çiftlik Bilgileri”, “Rota Bilgileri”, “Gübre Miktarları” ve “Çiftliklerin Uzaklık Bilgileri” bulunur. Araç Bilgileri butonuna tıkladığında açılan pencerede kullanıcının araç numarasını girmesi beklenir. Kullanıcı araç numarasını girdiği araca ait plaka ve kapasite bilgilerine ulaşabilir. Kullanıcı tarafından yeni araç eklenebilir ve var olan araç kullanımdan kaldırıldıysa silinebilir. Çiftlik Bilgilerinde ise çiftlik numarası girilerek çiftlik yetkilisinin bilgilerine ulaşılabilir. Rota Bilgileri butonuna tıkladığında gün içinde yapılacak rotaların bilgisi elde edilir. Gübre Miktarları bölümünde çiftlik numarası girilerek o çiftliğe ait gübre miktarı bilgisine ulaşılabilir. Çiftliklerin uzaklık bilgilerine tıkladığında kullanıcıdan uzaklığını görmek istediği iki çiftliğin numaralarının girilmesi istenir. Bu iki numara girildikten sonra uzaklık bilgisine kullanıcı ulaşır.

5.6 Doğrulama ve Geçerleme

Problemin çıktılarını analiz ettiğimizde, Tablo 2’de görüldüğü üzere, her bir kümede toplam 30 ton civarı atık bulunmaktadır. 30 ton olan kamyon kapasitesinin üstü açık yüklemelerde 32 tona kadar çıkabilmesi göz önünde bulundurulduğunda, mevcut kümeler araç kapasitesini aşmamaktadır. Burada görülen her bir küme, aracın bir turunu temsil etmektedir ve günlük toplanması gereken 500 ton atık miktarı mesai saatleri içerisinde toplanmaktadır.

Nihai olarak 19 adet küme elde edilmiştir. Bu kümelerin içerdiği çiftliklere baktığımızda, toplam 150 adet çiftliğin hepsinin ziyaret edildiği Tablo 2’de görülmektedir.

6. YÖNTEMİN UYGULANMASI

6.1 Veri Analizi

Problemin çözümünde kullanılması gereken parametreler aşağıdaki gibidir:

- **Mesafe Matrisi:** Firma tarafından edinilen çiftlik koordinatları elde edildi. Mesafe matrisini oluşturmak üzere çiftliklerin diğer bütün çiftliklere ve tesise olan gerçek uzaklıkları tespit edildi. Tek yön sokaklar ve alternatif rotalar göz önünde bulundurulduğunda uzaklık matrisinin simetrik olmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Kümelerin Sahip Olduğu Atık Miktarı ve Çiftlik Sayısı

	1. Küme	2. Küme	3. Küme	4. Küme	5. Küme	6. Küme	7. Küme	8. Küme	9. Küme	10. Küme
ATIK MİKTARI	26,93 Ton	27,28 Ton	29,28 Ton	27 Ton	30,57 Ton	29,71 Ton	27,29 Ton	31,87 Ton	29 Ton	28 Ton
ÇİFTLİK SAYISI	9	8	8	8	7	9	8	8	8	8
	11. Küme	12. Küme	13. Küme	14. Küme	15. Küme	16. Küme	17. Küme	18. Küme	19. Küme	TOPLAM
ATIK MİKTARI	28,14 Ton	27,85 Ton	23,71 Ton	25,58 Ton	26 Ton	28 Ton	29 Ton	28 Ton	20,30 Ton	523,51 Ton
ÇİFTLİK SAYISI	8	8	9	7	8	5	8	7	9	150

- **Çiftliklerden Çıkan Atık Miktarları:** Atık miktarları çiftliklerin hayvan kapasitelerinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken, bir büyükbaş hayvanın günlük çıkardığı ortalama gübre göz önünde bulundurulmuştur.
- **Kullanılacak Araçların Kapasitesi:** Bu aşamada şirketin filosunda henüz herhangi bir kamyon bulunmadığı için piyasa araştırması yapılarak kamyon kapasitesi 30 ton olarak kabul edilmiştir.

6.2 Deney Koşulları, Kullanılan Yazılım ve Donanım ile İlgili Bilgi

Çalışmada ticari en iyileme programı olarak CPLEX OPL kullanılmıştır. Java dilinde yazılan algoritma kodlanırken editör olarak Eclipse IDE tercih edilmiştir. Oluşturulan veritabanı ise Microsoft ACCESS programında hazırlanmış ve arayüzü oluşturulmuştur. Programlar çalışırken kullanılan bilgisayar INTEL® CORE™ i5 – 6200 CPU @ 2.30 GHz 2.40 GHz 4GB (Yüklü Ram) ve 64 bit işletim sistemine sahiptir.

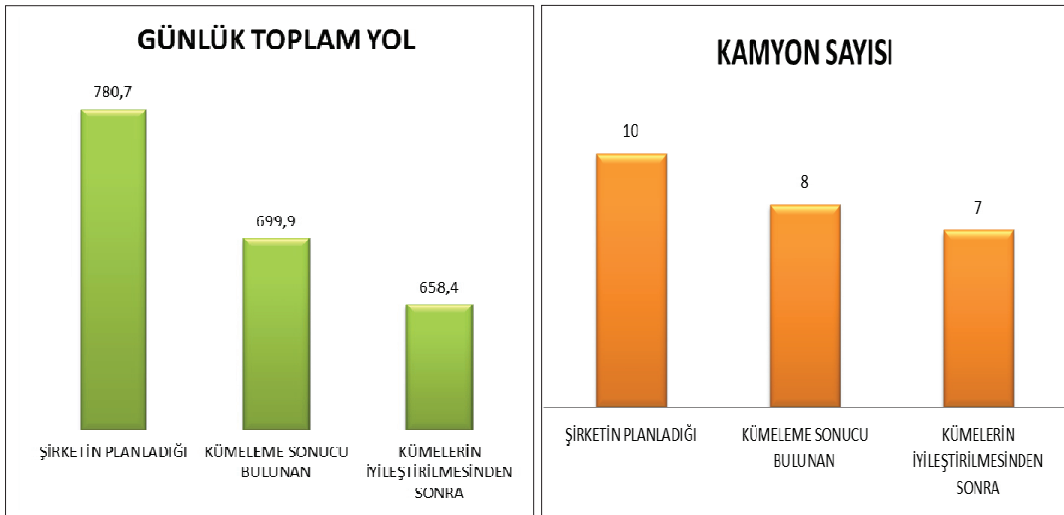
6.3 Koşturumun Sonuçları ve Performansın Ölçülmesi

Yapılan çalışmanın sonucunda çiftliklerin hepsi 19 adet kümeye bölünmüştür. Oluşan kümelerin hepsi için ayrı ayrı Gezgin Satıcı Problemi optimal olarak çözülmüş ve sonuçlar kaydedilmiştir.

Bu sonuçlarla beraber;

- Kamyonların kümeler içinde takip etmesi gereken güzergâhlar,
- Hangi kamyonun hangi kümeye atandığı,
- Kamyonların her turda tesisten çıkış ve tesise dönüş çizelgeleri,
- Kamyonların türü ve kapasiteleri,
- Yasal olarak bir şoförün çalışma saati olan 10 saati aşmadan en az kaç kamyonla sistemin devamlılığının sağlanabileceği,
- Günlük olarak yapılan bu yolların sabit ve değişken maliyetleriyle birlikte yıllık maliyete çevrilmesi,
- Şirket çalışanlarının kullanabileceği kullanıcı dostu bir veritabanı elde edilmiştir.

Kurulu bir sistem olmadığından elde edilen veriler ile eski sistem arasında karşılaştırma yapılarak elde edilen iyileşme gözlemlenmemektedir. Ancak şirket çalışanlarına daha da somut bir sonuç sunabilmek amacıyla proje kapsamında çalışan 5 mühendis ile görüşülmüş ve problem bir vaka analizi olarak kendilerine sunulmuştur. Çiftliklerin ve tesisin konumuna sahip ve üzerlerinde çiftliklere ait büyükbaş sayısı bilgileri bulunan haritalar çalışanlara dağıtılmıştır. Ardından, onlardan bu haritayı kamyon kapasite sınırını da göz önünde bulundurarak kümelere ayırmaları istenmiştir. Elde edilen kümeler girdi olarak alınarak yukarıda bahsedilen modeller tekrar çalıştırılmıştır. Bu koşturum sonucunda şirketin planladığı



Şekil 4. Sonuçların Karşılaştırması

ğ i sisteme göre toplam kat edilmesi gereken günlük yol 780,7 kilometre iken, gerekli kamyon sayısı ise 10 olarak belirlenmiştir. İnşa edilen sezgisel metot ile günlük toplam yol %10,35 azaltılarak 699,9 kilometreye düşürülmüş, gerekli araç sayısı ise 8 olarak bulunmuştur. Çözüm yöntemleri oluşturulurken yapılan kabullerde değişiklik olması durumunda, bunun sonucu etkileyebileceği ön görüldüğünden bir küme iyileştirme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma ile yeniden oluşturulan kümeler ve bu kümelere ait rotaların belirlenmesi ile toplam yol 658,4 kilometreye düşürülmüştür. Gerekli araç sayısı da 7 olarak bulunmuştur. Şekil 4’te de görüleceği gibi, koşuturum sonucunda günlük toplam yol 122,3 kilometre azalırken araç sayısı da 7’ye düşürülmüştür.

Bu 3 çözüm için araç kiralama, yakıt ve işçi maliyetleri araştırılarak toplam günlük operasyon maliyetleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Tablo 3’te gösterilmiştir. Bunlar sonucunda referans çözümüne göre günlük 1.360,21 TL, yıllık 496.476,65 TL kar sağlanmıştır.

6.4 Duyarlılık Analizleri

Projede oluşturulan modeller mevcut problem için oluşturulmuştur ancak benzer bir probleme kolaylıkla entegre edilebilecek şekilde hazırlanmıştır. Aynı zamanda değişen koşullarda kolaylıkla revize edilebilir. Bu durumlar tesislerden çıkan atıkların artması, yeni çiftliklerle sözleşmeler imzalanıp uğranması gereken tesis sayısının artması ve kurulan filodaki kamyonların ve kapasitelerinin değişmesi şeklinde üç ana başlıkta incelenebilir. Üç durum içinde modellerdeki farklı parametrelerinin değişmesiyle hızlı ve iyi çözümler elde edilebilir. Çözümler değiştirilmek istendiği takdirde modellerin esnekliği sayesinde karar vericilerin istekleri doğrultusunda pareto optimal çözümler elde edilebilir.

Tablo 3. Maliyet Hesapları

	Araç Kiralama Maliyeti	Yakıt Maliyeti	İşçi Maliyeti	Toplam Günlük Maliyet	Yıllık Maliyet
Şirketin Planladığı	3.333,30 TL	1.092,98 TL	630,00 TL	5.056,28 TL	1.845.542,20 TL
Kümeleme Sonucu Bulunan	2.666,64 TL	979,86 TL	504,00 TL	4.150,50 TL	1.514.932,50 TL
İyileştirmeden Sonra	2.333,31 TL	921,76 TL	441,00 TL	3.696,07 TL	1.349.065,55 TL

• Çiftliklerden Çıkan Atıkların Artması Durumu:

Çiftliklerin bulundurduğu atık miktarı arttığında oluşturulan kümeleme algoritmasında hedef programlama kısıtlarının değişmesi gerekmektedir. Yeni toplam, çıkan atık miktarı istenen küme sayısına bölünüp elde edilen sayı her kümede çıkan toplam atık miktarı kısıtına parametre olarak yazılmalıdır. Model bu haliyle çalıştığında yeni atık toplamlarına göre kümelenecek GSP olarak çözüldüğünde toplam mesafe bakımından iyi olan bir kümeleme oluşturur. Başlangıç çözümü olarak yeni bulunan kümeler belirlenir ve iyileştirmeler yapıldıktan sonra kamyon sayıları, en az kamyon sayısını bulan modelde yeni kümelere göre bulunur.

• Yeni Çiftliklerin Eklenmesi Durumu:

Yeni çiftlikler eklendiğinde modelde sonuç alabilmek için eklenen çiftliklerin mesafe matrisi mevcut mesafe matrisine ve çıktılarını mevcut çıktı matrisine eklenmelidir. Eklenen çiftlik sayısına göre 8-10 çiftlik eklendiğinde bir yeni küme gelecek şekilde küme sayısı baştan belirlenip referans noktaları yeniden belirlenir. Bu referans noktaları temel alınarak yeni kümeler oluşturulur ve kalan işlemler eski sistemle aynı şekilde devam eder.

• Kamyonların Kapasitelerinin Değişmesi:

Kamyonların kapasiteleri değiştiğinde kümeleme algoritmasında her kümeden yaklaşık çıkması gereken atık miktarı kısıtında atık parametresi kamyonun yeni kapasitesi kadar yazılmalıdır. Toplam çıktı miktarının yeni kapasiteye bölünerek yeni küme sayısı bulunup model yeniden yazılmalıdır. Modelin sonucunda geri kalan iyileştirmeler aynı şekilde yapılarak araç sayısı bulunur.

7. ÖNERİLEN ÇÖZÜMÜN KURULUŞTA UYGULAMA PLANI

7.1 Uygulama Planı

Projede firmanın taleplerini karşılayacak bir lojistik sistemi kurulmuş ve bu doğrultuda kiralanacak kamyon sayısı, bu kamyonların kapasiteleri ve günlük rotaları belirlenmiştir. Uygulama sırasında denetimin ve operasyonun kolay yapılmasını sağlamak amacıyla operatörlerin kolayca anlayacağı bir veri tabanı hazırlanarak firmaya sunulmuştur.

Biyogaz tesisinin inşaatı henüz tamamlanmamıştır. Tesis faaliyette olmadığından bulunan çözüm uygulamasının gerçekleştirilmesi şu an için mümkün değildir. Uygulama aşamasında çiftliklerde bulunan büyükbaş sayılarının, kamyonların doluluk oranlarının ve zaman kısıtlarının düzenli olarak takip edilmesi, belirli periyotlarda verilerin analiz edilerek sistemde gerekli güncellemelerin yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bu güncellemeler yapılırken Bilişim Sistemleri Birimi ile ortak bir çalışma yürütülmesi önerilmiştir.

7.2 Öneriler

Sistemin etkinliğini arttırmak ve olası olumsuz durumların önceden ön görülmesini sağlamak amacıyla firmaya aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Tesisin talebinin karşılanamadığı olası bir durumun önüne geçmek amacıyla anlaşma imzalanan çiftlik sayısının artırılması
- Her çiftlikte atık havuzu oluşturulması operasyonun hızlanmasını ve araçların daha fazla çiftlik gezebilmesini sağlayacağı için çiftliklerle bu doğrultuda görüşmeler yapılması
- Atık havuzu bulunan çiftliklerde günlük atık miktarını dinamik olarak takip edebilmek amacıyla ağırlık sensör sistemlerinin kurulması, gerekirse bu uygulama için çiftliklere teşvik verilmesi

8. GENEL DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇ

8.1 Projenin Firmaya Getirmesi Beklenen

Katkılar

Rotalarının iyileştirilmesi sonucunda, başlangıç referans çözümüne göre araçların günlük toplam 122,3

kilometre daha az yol kat etmesi sağlanmıştır. Referans çözümü sonrası 10 olarak belirlenmiş araç sayısı ise 7'ye düşürülmüştür. Her araca bir şoför atıldığı durumda anket sonucu belirlenen duruma göre günlük 1572,45 TL kar sağlandığı görülmüştür.

Anlaşma imzalanan çiftliklerin hayvan sayıları ve günlük atık miktarları oluşturulan veritabanı sayesinde anlaşılır bir şekilde raporlanmıştır. İhtiyaç duyulduğu durumda çiftlik bilgileri güncellenebilecek, yeni çiftlikler eklenebilecektir. Aynı zamanda oluşturulan rotalar da veritabanından takip edilebilecektir. Çiftlik sayıları ve atık miktarlarında değişiklik olması durumunda yeni kümeler ve rotalar rahatlıkla belirlenebilmektedir.

Projenin henüz faaliyette olmaması sebebiyle yapılan proje ve araştırmalar şirketin maliyet raporlaması, filo oluşumu ve rota raporlarına yansıtılacak; yatırımcı ve yöneticiler için projenin geleceğinin öngörüsünün daha somut bir şekilde yapılabilmesini sağlayacaktır.

8.2 İleriye Dönük Güncelleme / Geliştirme

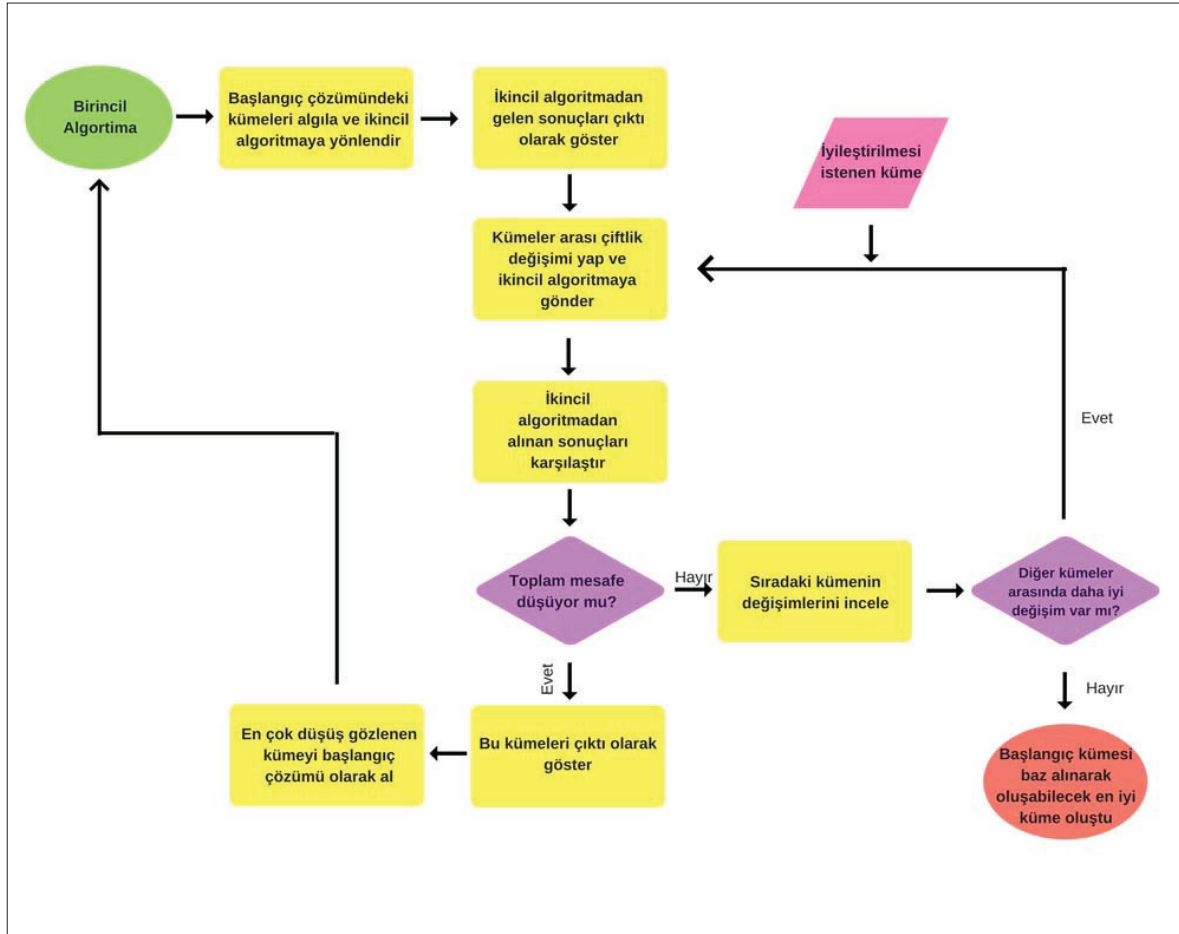
Problemin çözüm kısmında Gezgin Satıcı Problemi çözümü için uygulanan algoritma, optimal rotayı bulmaktadır. Geliştirilen kümeleme yönteminde bir kümedeki toplam atık miktarının kamyon kapasitesini geçmemesi bir kısıt olarak alınmıştır. Bu kısıt doğrultusunda bir kümede en fazla 9 adet çiftlik olması nedeniyle mevcut problemde çözüm süresi ile ilgili bir sıkıntı yaşanmamaktadır. Problemin boyutu artar ise bu doğrultuda küme sayısı da artırılabilir. Çözüm yöntemi makul sürede sonuç vermeye devam edecektir. Atık miktarının çok değişken olması sebebiyle şirkete araç kiralaması önerilmiştir. İlerleyen aşamalarda elde edilen çözüm yöntemleri bir karar destek sistemi ile desteklenebilir.

KAYNAKÇA

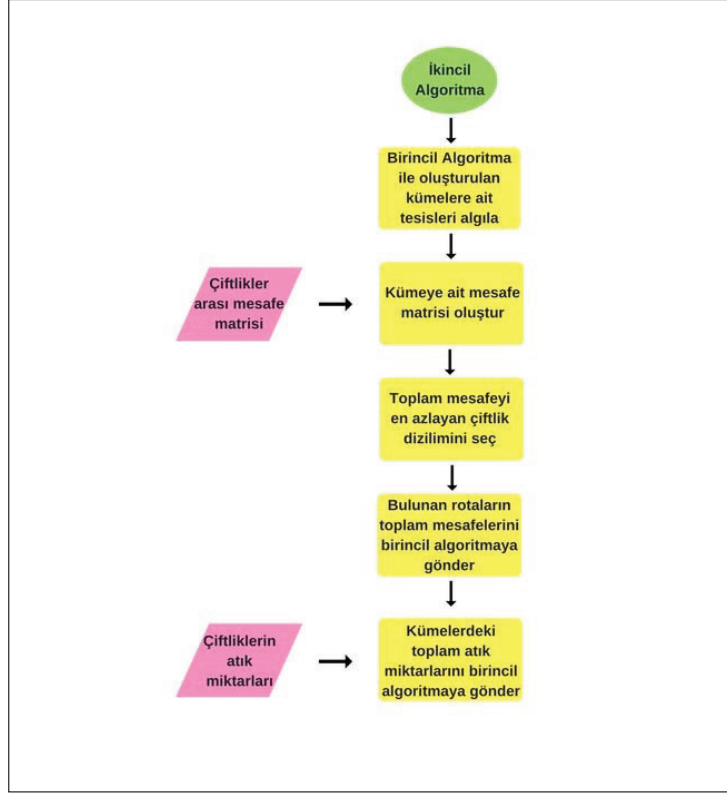
1. Ahuja, R. K., Orlin, J. B., Sharma, D. 2000. "Very Large-Scale Neighborhood Search," International Transactions in Operational Research, vol. 7, p. 301-317.
2. Akça, Y., Aksen, D., Kaya, O., Salman, F. S. 2012. "Selective and Periodic Inventory Routing Problem for Waste Vegetable Oil Collection," Optimization Letters, vol. 6, p. 1063-1080.
3. Alkan, A., Bozyer, Z., Fıçlalı, A. 2014. "Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü için Önce Grupla

- Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi,” Bilişim Teknolojileri Dergisi, sayı 7 (2), s. 29-37.
4. **Bodin, L., Sniezek, J.** 2006. “Using Mixed Integer Programming for Solving the Capacitated Arc Routing Problem with Vehicle/Site Dependencies with an Application to the Routing of Residential Sanitation Collection Vehicles,” *Annals of Operatios Research*, vol. 144, p. 33-58.
 5. **Dantzig, G. B., Ramser, J. H.** 1959. “The Truck Dispatching Problem,” *Management Science*, vol. 6, p. 80-91.
 6. EİE. 2017. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz>, son erişim tarihi: 15.02.2017.
 7. EPIAŞ. 2017. <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency>, son erişim tarihi: 15.02.2017.
 8. **Hansen, P., Mladenovic, N.** 2001. “Variable Neighborhood Search: Principles and Applications,” *European Journal of Operational Research*, vol. 130, p. 449-467.
 9. **Kaygusuz, K., Sekerci, T.** 2016. “Biomass for Efficiency and Sustainability Energy Utilization in Turkey,” *Journal of Engineering Research and Applied Science*, vol. 1 (1), p. 34- 43.
 10. **Kumar, S., Panneerselvam, R.** 2012. “A Survey on the Vehicle Routing Problem and its Variants,” *Intelligent Information Management*, vol. 4, p. 66-74.
 11. **Paolo, T., Vigo, D.** 2014. “Vehicle Routing Problems, Methods and Applications,” *Mathematical Optimization Society and the Society for Industrial and Applied Mathematics*, İtalya.
 12. **Toklu, E.** 2017. “Biomass Energy Potential and Utilization in Turkey,” *Renewable Energy*, vol. 107, p. 235-244.
 13. World Energy. 2017. <https://www.worldenergy.org/wpcontent/uploads/>, son erişim tarihi: 15.02.2017.

Ek 1a. Küme İyileştirme Algoritması (Birincil Algoritma)



Ek 1b. Küme İyileştirme Algoritması



Ek 2. Kamyonlara ait Tur Bilgileri

Kamyon No	Tur No	Tesisten Çıkış Saati	Tesise Dönüş Saati	Mola	Turlarda Uğranan Çiftlik Sayısı	Turdaki Toplam Gübre(ton)	Turdaki Toplam Yol (km)
1	1	08:00	10:27		9	26,93	13,3
1	8	10:42	13:35	13:50-14:50	8	31,87	23
1	10	14:50	17:35		8	28	24,6
2	3	08:00	10:30		8	29,28	13,6
2	11	10:45	13:19	13:34-14:34	8	28,14	18,1
2	16	14:34	17:49		5	28	50,9
3	15	08:00	11:10		8	26	42,8
3	17	12:25	16:25	11:25-12:25	8	29	69,4
4	4	08:00	11:30		8	27	37,7
4	13	12:45	15:15	11:45-12:45	9	23,71	20,6
4	19	15:30	17:58		9	20,3	57,6
5	6	08:00	12:11		9	29,71	71,9
5	18	13:26	17:10	12:26-13:26	7	28	62,2
6	2	08:00	10:38		8	27,28	21,9
6	7	10:53	13:23	13:38-14:38	8	27,29	17,4
6	14	14:38	17:17		7	25,58	23
7	5	08:00	11:09		7	30,57	34,1
7	9	11:24	14:24	14:39-15:39	8	29	31,9
7	12	15:39	18:00		8	27,85	24,4

7 KAMYON

19 TUR

%92
DOLULUK

658.4
KM

XI. ENDÜSTRİ VE İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ KURULTAYI

Odamız tarafından İstanbul Şube yürütücülüğünde düzenlenen XI. Endüstri ve İşletme Mühendisliği Kurultayı, 17-18 Kasım 2017 tarihlerinde MMO İstanbul Şube konferans salonunda gerçekleştirildi



Kurultayımız süresince 3 panel gerçekleştirilmiş, 1 özel oturum ve 4 oturumda toplam 13 bildiri sunulmuştur.

Ana teması "Endüstriyel Dönüşümde Endüstri ve İşletme Mühendislerinin Rolü" olarak belirlenen kurultayın açış konuşmaları Oda Yönetim Kurulu Sekreter Üyesi Yunus Yener ve Odamız İstanbul Şube Yönetim Kurulu Başkanı Battal Kılıç tarafından yapıldı.

Oda Yönetim Kurulu Sekreter Üyesi Yunus Yener açılıшта şöyle konuştu:

"Makina Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu ve şahsım adına hepinizi saygıyla selamlıyorum. On birinci Endüstri ve İşletme Mühendisliği Kurultayı'na hoş geldiniz.



"Endüstriyel Dönüşümde Endüstri-İşletme Mühendislerinin Rolü" ana temalı, endüstri ve işletme mühendislerinin mesleki ve toplumsal sorumluluklarının ve bu alanda yaşanan sorunların değerlendirileceği etkinliğimizin verimli geçmesini diliyorum.

Bildiğiniz gibi Odamız bünyesinde makina mühendislerinin yanı sıra Endüstri, İşletme, Uçak, Havacılık, Uzay, Mekatronik, Sistem, İmalat, Üretim, Sistem, Otomotiv ve Enerji Sistemleri disiplinleri de bulunmaktadır.

63 yıllık tarihi bulunan Odamızın üye sayısı bugün 108 bine ulaşmıştır. Odamıza kayıtlı ikinci büyük meslek disiplini olan endüstri ve işletme mühendislerinin sayısı ise 7 bin 717'ye ulaşmıştır.

Endüstri ve işletme mühendisliğine yönelik etkinliklerimize, Endüstri-İşletme Mühendisliği Kurultayları yanı sıra geçtiğimiz dönemlerde gerçekleştirdiğimiz Endüstri Mühendisliği Bahar Konferansları, 6 Sigma Yalın Konferansları, Endüstri Mühendisliği Yazılımları ve Uygulamaları Kongresi ile KAIZEN Paylaşımları Etkinliğini de eklemiş bulunuyoruz.

Bu etkinliklerden süzülen görüşlerin, Odamızın endüstri ve işletme mühendisliklerine yönelik çalışma programlarının şekillenmesinde önemli bir rolü bulunduğunu belirtmek isterim.

Ayrıca, Odamızın düzenlediği makine imalatı, işçi sağlığı ve iş güvenliği, sanayi, bakım teknolojileri, enerji

verimliliği vb. konulardaki kongre, kurultay, sempozyum etkinliklerinin önemli bir bölümü endüstri ve işletme mühendisliği uygulama alanları ile doğrudan ilişkilidir. Bütün bu etkinliklerde verimlilik, AR-GE, tasarım, planlama, inovasyon, teknoloji, mühendislik vb. konular irdelenmekte; genç meslektaşlarımızın mesleki-sosyal gelişimine önemli katkılar sunulmaktadır.

Önceki kurultaylarda üzerinde en çok durulan hususların başında, endüstri ve işletme mühendislerinin yetki ve sorumluluklarını ve serbest meslek uygulamalarını belirleyen yasal düzenlemelerin bulunmaması ve bu alanda meslek içi eğitim ve belgelendirme programlarının yetersizliği konuları gelmekteydi. Bu konuda Odamızca sonuç alıcı çalışmalar yürütülmüş; Stratejik Planlama ve Yatırım Hizmetleri Yönetimi üzerine hazırladığımız iki ayrı yönetmelik 2008 yılı başında Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe sokulmuştur.

Odamızın enerji verimliliği mevzuatına yönelik yürüttüğü ısrarlı çalışmalar sonucunda, endüstri ve işletme mühendisleri, endüstriyel işletmelerde enerji yöneticisi olma olanağına kavuşmuştur.

Endüstri ve işletme mühendislerinin yetki alanlarının tanımlanmasında önemli adımlar atılmaktadır. Bu kapsamda, Meslek İçi Eğitim Merkezlerimizde stratejik planlama, yatırım hizmetleri yönetimi, enerji yöneticiliği, iş güvenliği ve makine değerlendirme biliklilik eğitimi ve belgelendirmesi yapılmaktadır.

Şubelerimiz aracılığıyla da kalite sağlama sistemleri, çevre güvenliği, istatistiksel süreç kontrolü, kalite planlaması, iç denetçi, 6 sigma, satın alma yönetimi, stok yönetimi, üretim kaynak planlaması, iş etüdü, yalın üretim, ergonomi, işçi sağlığı ve güvenliği, veri madenciliği seminerleri düzenlenmektedir.

Yeri gelmişken, meslek içi eğitim faaliyetlerimizde, öğretim üyelerimiz ve konusunda yetkin meslektaşlarımızın desteğini beklediğimizi burada özellikle belirtmek istiyorum.

Endüstri ve işletme mühendislerine yönelik yayın çalışmalarımız da artırılarak sürdürülmektedir. 1989 yılından beri yayımlanan Endüstri Mühendisliği Dergisi yayın hayatını sürdürmektedir. Dergimize ek olarak altı

yıldır düzenli olarak çıkardığımız EİM Bülteni sürekliliğinin sağlanması için önümüzdeki dönemde katkılarınıza ihtiyaç duymaktadır.

Kısaca özetlediğim bu çalışmalar, Endüstri ve İşletme Mühendisliği Meslek Dalı Ana Komisyonu ve Şubelerimizdeki Meslek Dalı Komisyonlarımız aracılığıyla yürütülmektedir.

Meslek Dalı Komisyonları, Odamızda Endüstri ve İşletme Mühendisliği örgütlenmesinin yapı taşlarıdır. Bu komisyonlarda görev alan üyeler, şubelerimizde tüm endüstri ve işletme mühendislerinin katılımı ile yapılan seçimlerle belirlenmektedir.

Endüstri mühendisliği yetki alanlarının genişletilmesi, mesleki ve toplumsal sorumluluk bilincinin geliştirilmesi, çalışma alanlarında karşılaşılan sorunların aşılmasına yönelik çalışmaların başarıya ulaşması, büyük çoğunluğu örgütsüz olan endüstri ve işletme mühendislerinin Meslek Dalı Komisyonu çalışmalarına destek vermesinden, verdiğiniz desteği artırmanızdan, örgütsel yapımızın güçlendirilmesinden geçmektedir.

Bilgi birikiminizi Odamızla paylaşmanızı, Oda çalışma gruplarında, komisyonlarda görev almanızı istiyoruz. Henüz Odamıza üye olmamış meslektaşlarımızı Oda çalışmalarına yönlendirmenizi bekliyoruz. Biz Oda yönetimi olarak, bu alanda yürütülecek çalışmalara bütün olanaklarımızla destek vermeye hazırız.

Kamu yönetimini, ülke imarını, yapı, kent, ulaşım, eğitim, sağlık, tarım, enerji, maden, su, çevre ve koruma alanları ile TMMOB mevzuatını yeniden düzenlemeye yönelik adımlar ne yazık ki iki kurultayımız arasında yoğunlaştı. Ülkemiz bugün derin bir karanlığa doğru sürüklenmektedir. Bu gidişatın çalışma alanlarımıza, genelde sanayi ve ekonomiye de yansımalarını görüyoruz. Bu süreçte, TMMOB ve bağlı Odalarının iç işleyişlerinden, üyelerimizin toplumsal yaşamın hemen her alanında yürüttükleri mesleki faaliyetlerine dek müdahale edilmesi de söz konusudur. TMMOB ve bağlı Odalarının kamu adına kamusal-mesleki-toplumsal sorumluluk ve etik ilkeler çerçevesinde yürüttüğü faaliyetler ve sunduğu katkıların bertaraf edilmeye çalışılmasının iktidarın rant ve yandaş

ekonomisinin önündeki engelleri de büyük oranda ortadan kaldırmaya yönelik olduğunu hatırlatmak isterim.

Küresel kapitalist ekonomide esen yeni rüzgarların Türkiye lehine olmadığı çok açık görülmektedir. Bugüne dek sıcak paraya bağımlı sürdürülen ekonomide sıcak para denilen kısa dönemli finans sermayesi hareketleri artık kapitalizmin merkezlerine yönelmekte ve bu durum iktidar ekonomisinin kimyasını bozmaktadır. Bugüne dek iktidarın en gözde reklamı gibi kullanılan ekonominin tüm yaldızlarının dökülme süreci yaşanmaktadır.

Yüzde 12'ye dayanan enflasyon, neredeyse yüzde 11 diyebileceğimiz işsizlik oranı, bozulan kamu maliyesi, artan açıklar ve tüm bedellerin zam, vergi ve cezalarla halkın üzerine yüklenmesi, ekonomik gerçeklerden sadece birkaçıdır. Bugünden 2018 yılının çok zor geçeceğini söylemek ne yazık ki mümkündür.

Peki, genç nüfus dinamiği ve kaynak yapısıyla, gelişmiş bir ekonomi olma yolunda son derece elverişli koşullara sahip olan ülkemiz nasıl bu hale gelmiştir?

Türkiye neoliberal politikalar ile sanayisizleşmeye doğru itilmiş, cari açık, işsizlik, taşeronlaşma, fason üretim, ara malı-yatırım malı ithalatı, orta-düşük ve düşük teknolojili üretimde yoğunlaşmış bir yapılanma ortaya çıkmıştır.

Son çeyrek büyüme rakamlarının da ortaya koyduğu şekilde, milli gelirdeki artışın kaynağı, giderek üretken sektörlerden uzaklaşmakta; toplumsal refaha ve istihdama katkı sağlamayan sektörler üzerinden sağlanmaktadır.

Üretken olmayan bu sektörler arasındaki parlayan yıldız inşaat olurken, tüm sermaye ülkenin doğasını, kentsel dokusunu katleden rant paylaşımından pay kapmaya yarışır hale gelmiştir.

Sizlerin de çok iyi bildiği gibi inşaat ve inşaatla paralel çalışan hizmetler sektör kolları, üretimi artırmayı değil, üretilmiş el koymayı, gelirden daha fazla payı üretimsiz bir şekilde paylaşmayı amaçlar. Üretim artmayınca istihdam da artmaz, üretim teknikleri ve yeni teknolojiler gelişemez. Ülke ekonomisi bir çöküntüye ve yozlaşmaya doğru sürüklenirken, çoğunluğu genç nüfustan oluşan işgücü potansiyelini de karanlık bir sona doğru sürükler.

Ülkemizde bugün artık sanayinin rafa, sanayileşme iddialarının tarihe gömüldüğüne tanık oluyoruz. Sanayileşmenin merkezinde yer alan imalat sanayi ülkemizde hem niceliksel hem de niteliksel olarak gerilemeye terk edilmiştir. 2000'lerin başında yüzde 46'larda olan büyüme hızı bugün yüzde 10'lara düşmüştür. Yine aynı dönem aralığında toplam milli gelir içindeki payı yüzde 22'lerden bugün yüzde 16'lı seviyelere düşmüş, toplam sabit sermaye yatırımları 245 milyar liradan 165 milyar liraya düşmüştür.

İmalat sanayiinde yatırım yoğunluğu incelendiğinde ise 1970'lerde yüzde 47,6, 1990 ve 2000'lerin başında yüzde 20'lerde, bugüne gelindiğinde ise yüzde 13'lük bir seviye göze çarpmaktadır.

Tüm bu süreçler içinde Endüstri mühendisliği disiplininin ve bu disiplinin temel özelliği olan "sistem yaklaşımı"nın sanayi ve hizmet işkollarında sağlayacağı faydanın hâlâ yeterince anlaşılmadığı ortadadır. Kamudaki endüstri ve işletme mühendisi istihdamının yetersizliği başlıca sorunlardan biridir.

Çalışma alanlarımız içinde yer alan stratejik planlama, fizibilite etütleri, kapasite raporlarının hazırlanması, tesis planlama, proje yönetimi, işgücü planlama, yönetim sistemleri, verimlilik çalışmaları gibi alanlara farklı meslek disiplinleri ikame edilmektedir. Gerek bu gerekse plansız açılan bölümler nedeniyle çok sayıda Endüstri Mühendisi işsizlik sorunu ile karşı karşıya kalmakta, düşük ücretlerle ya da kendi alanları dışında çalışmaya zorlanmaktadır.

Ayrıca eğitim, istihdam, eğitilmiş işgücü ihtiyacı dengesi göz ardı edilmektedir. Bugün yurt genelinde 93 üniversitede 93'ü örgün, 12'si ikinci öğretim olmak üzere toplam 105 Endüstri ve İşletme Mühendisliği Bölümü bulunmaktadır. Bunların 68'i devlet, 37'si vakıf üniversitesidir.

Herhangi bir ihtiyaç planlaması yapılmaksızın, binası, öğretim üyesi dahi olmayan üniversitelerde Endüstri Mühendisliği bölümleri açılmakta, kontenjanların dolmasına ve artan işsizliğe rağmen karma "uzaktan eğitim" yöntemleriyle eğitimin kalitesi daha da düşürülmektedir.

Günümüzde büyüme ile sanayileşme, kalkınma, gelir dağılımı, istihdam ile refah, ve aynı şekilde verimlilik ile

istihdam arasındaki bağlar tamamen kopmuş durumdadır. Sanayide son 15 yılda emek verimliliği artışı yüzde 70 gibi hayli yüksek bir oranda gerçekleşmiş ancak reel ücretler gerileme seyri izlemiştir. Yaratılan katma değer için kâr, faiz ve ücret dağılımında ücretlerin payı azalmakta, kârlar ve faiz ödemelerinin payı ise artmaktadır.

Bu koşullarda, kurultayımızın ana teması olan “Endüstriyel Dönüşümde Endüstri ve İşletme Mühendislerinin Rolü” bugün ülkemiz ‘sanayisizleşme’ sürecindeyken tartışılması gereken öncelikli konulardan birisidir.

Tam da bu noktada bugün istihdam ve üretimde ‘bir devrim’ olarak sözü edilen Endüstri 4.0 oluşumuna da dikkatli bakmak gerektiğinin altını çizmek isterim.

Üretim teknolojileri, otomasyon, elektronik, bilişim teknolojilerinin olağanüstü bir hızla gelişmesi çok olumludur ancak bu durumun, üretimdeki emek gücünün payının düzenli olarak düşmesini beraberinde getirdiğini de görmek gerekir.

Dünya imalat sanayi üretimindeki gerilemenin ve genel olarak küresel krizin aşılmasında, kabul etmek gerekir ki, bugün nitelikli bir teknoloji hamlesine ihtiyaç vardır. Fakat eğer bu ihtiyacı doğru tanımlamazsak, teknolojiyi üretim ve istihdam doğrultusunda doğru bir şekilde kullanmaktan da bahsetmemiz mümkün olmayacaktır.

Bugün bilgisayarlaşma, robotlaşma gibi konular eşliğinde tartıştığımız Endüstri 4.0 konusu, büyük uluslar arası güçler arasındaki bir rekabet konusu olmanın yanında ve son tahlilde insan emeğinin yerine makinelerin ikame edileceği bir teknolojinin dar bir sermaye grubu tarafından sahip olunacağı ve yönetileceği gerçeği üzerine inşa edilmiştir.

Bu noktada biz mühendisler hiçbir zaman unutmamalıyız ki, tüm teknoloji ürünleri insanlığın kolektif mirası üzerinde yükselmektedir. Ve bu zenginliğin kâr için değil insan ihtiyaçlarının karşılanması için seferber edilmesi yolunda mücadele etmek en başta mühendislerin görevidir.

Ülkemiz özgülünde endüstriyel dönüşüm konusunu, ne yazık ki biraz farklı ele almak durumunda kalıyoruz. Zira ülkemizin içinde bulunduğu sanayisizleşme süreci,

dışa bağımlı ekonomi, ülkemizi teknolojiyi üreten değil sadece tüketen bir ülke durumuna itmektedir. Dolayısıyla yeni teknoloji hamlelerinin ülkemizdeki uygulanabilirliği ve sonuçları üzerine tartışılabilmesi için her şeyden önce ‘beton ekonomisinden’ çıkmak, okları üretim ekonomisine çevirmek gerekir. Yatırımların uzun süredir durduğu, makina ve teçhizat yatırımlarının günümüzde ciddi kan kaybettiği, enflasyon ve faizin her gün yeni rekorlara koştuğu bir ekonomide ne yatırımdan ne de teknolojiye bahsetmek mümkün olmamaktadır.

Ülkemizde her şeyden önce anlayışın değişmesi gerekmektedir. Demokratik, katılımcı bir ekonomik ortamın sağlanarak, insana, emeğe, doğaya, yaşama, sırtını değil yüzünü dönmüş bir anlayışa ihtiyacımız var. Bu noktada konu, tarihsel olarak, bilimsel teknik gelişmelerin, emek gücü ve insanlığın toplumsal refahı doğrultusunda nasıl kullanılacağı sorusunda düşümlenmekte ve halktan, emekten, sanayileşme ve mühendislikten yana bir yaklaşım gerekmektedir. Kurultayımızın bu konuda verimli tartışmalara yol açmasını diliyorum.

Her şeye karşın, geleceğimizi ellerimize almak ve öz kaynaklara dayalı bir toplumsal kalkınma olanaklıdır.

Söz konusu olumsuz gidişin nedeni olan dışa bağımlı politikalar terk edilmeli; emperyalist güçlerin dayattıkları programlar reddedilmelidir. Serbestleştirme, özelleştirme uygulamalarından vazgeçilmeli, ithalat politikaları gözden geçirilmeli, yerli yatırımcı özendirilmeli ve korunmalı, sanayiye ve katma değeri yüksek ileri teknoloji alanlarına yatırımlar yapılmalı, kamunun ekonomideki yönlendiriciliği benimsenmeli ve net bir planlama-kalkınma yönelimi benimsenmelidir. Böylesi politikaları sömürü odaklarından bağımsız ve kapsamlı bir demokratikleşme eşliğinde oluşturduğumuzda, ülkemizin düze çıkışı gerçekleşecektir.

Sözlerime son verirken, kurultayı destekleyen bütün kurum, kuruluş, dernek ve üniversitelere, panellerde yer alacak, bildiri sunacak bütün değerli akademisyen, uzman ve konuşmacılara, tüm delege ve izleyiciler ile düzenleme, danışma, yürütme kurulları ve kurultay sekreterlerine, İstanbul Şubemizin Başkanı, Yönetim Kurulu ve çalışanlarına, Oda Yönetim Kurulu adına içtenlikle teşekkür ediyor, hepinize saygılar sunuyorum.”◀◀

XI. ENDÜSTRİ VE İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ KURULTAYI SONUÇ BİLDİRİSİ



Türkiye`de Endüstri Mühendisliği eğitimi 1969 yılında ODTÜ`de ve hemen akabinde de İTÜ`de başlamıştır. 2017 yılında endüstri ve işletme mühendisliği alanı için yurt genelinde 93 üniversitede 93`ü örgün, 12`si ikinci öğretim olmak

üzere toplam 105 Endüstri ve İşletme Mühendisliği Bölümü bulunmaktadır. Bunların 68`i devlet, 37`si vakıf üniversitesidir. Bu rakamlar, endüstri ve işletme mühendisliğinin birçok üniversitede kolayca açılabilen mühendislik bölümlerinden biri haline geldiğini göstermektedir. Kasım 2017 itibariyle odamıza kayıtlı endüstri ve işletme mühendisi sayısı 8.050`yi bulmuştur.

Endüstri ve işletme mühendislerinin imza yetkisi olması için iki uzmanlık alanı tanımlanmış ve Stratejik Planlama ve Yatırım Hizmetleri Yönetimi Mühendis Yetkilendirme yönetmelikleri Resmi Gazete`de yayımlanmıştır. Bunlardan ilki olan stratejik planlama uzmanlığı; ülkeyi yönetenlerin heveslerinin ve hayallerinin gerçekleştirilmesi için değil ülke olanakları ve kabiliyetleri ile dünyadaki fırsatlar ve tehditler göz önüne alınarak stratejik planlar hazırlanması ve bu plana ulaşmak için tüm ülke ekonomisinin ve sanayisinin ortak bir istikamete yönlendirilmesi amacıyla yöneliktir.

Yatırım Hizmetleri Yönetimi ise mevcut kaynakları en uygun ve en etkili şekilde kullanmamız için gereken mesleki bilgi birikiminin ülke ve toplum yararına kullanılmasına yöneliktir. Ancak bu sayede ilerlemek ve halkımız için fark yaratacak değerleri ortaya çıkartmak mümkün olabilecektir.

Kurultayımızda gelişen ve değişen teknolojiye uyumlu, insanı tüm üretim ve hizmet sektörlerinin odağında tutabilecek bir vizyonun endüstri ve işletme mühendisliği açısından önemi üzerine değerlendirmeler yapılmış ve üniversiteler ile sanayi arasında işbirliği çerçevesinde kamusal değerlerle gerçekleştirilmesinin önemine vurgu yapılmıştır.

Kurultayımız;

- Endüstriyel dönüşümde endüstri işletme mühendisleri olarak sistemin insan odağını ve sistem çevre ile uyumunu optimum düzeyde değerlendirmek,
- Teknolojik ilerlemenin zorunluluğu ile oluşacak yararları, meslektaşımızın büyük fotoğrafının neresinde olduğunu ve ilerleyen süreçte nerede olacağını öngörmek,
- Stratejik Planlama ve Yatırım Hizmetleri uzmanlık alanlarının, belgelendirmeye ilişkin yönünün endüstriyel dönüşüme adaptasyonu ve uygulanabilirliğini incelemek,
- Teknolojik ilerlemede toplumsal yararların önemsenmesini sağlamak, şirketlere ve kamu tarafından içselleşmesine katkı sağlamak,
- Üniversitelerin eğitim programlarına endüstriyel dönüşüm ve toplumsal kazanımları içeren derslerin dahil edilmesini sağlamak,
- Öğrencilere TMMOB geleneği, Makina Mühendisleri Odası bakış açısı, öğrenci üyelik ve örgütlü yapının gerekliliğinin önemini aktarabilmek, vb. değerli amaçların dile getirilmesi yanı sıra günümüzde yaygın olarak konuşulan dijital dönüşüm/Endüstri 4.0`ın yalnızca üretim ve hizmet sunma açısından değil, kamusal-toplumsal yarar ve insan odaklı bir yaklaşım ile birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmıştır. ◀◀

TMMOB Makina Mühendisleri Odası

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ YAYIN POLİTİKASI

Endüstri Mühendisliği Dergisi, TMMOB-MMO tarafından üç ayda bir yayımlanan süreli ve hakemli bir yayındır.

Hedef Okuyucu Kitlesi

Endüstri Mühendisliği (EM) ve Yöneylem Araştırması (YA) konularında araştırma yapan, eğitim veren, eğitim gören ve bu alanlarda çalışanlardan oluşur.

Yayın Amaçları

EM ve YA alanlarındaki gelişmeler, çalışmalar ve araçlarla ilgili akademik nitelikli yayın yapar.

EM ve YA alanlarındaki başarılı uygulamaların yaygınlaştırılması ve deneyimlerin paylaşılması için yayın yapar.

Meslek ile ilgili görüşlerin aktarılmasını ve tartışılmasını sağlar. EM ve YA alanlarında ortak bir dilin oluşmasına katkıda bulunur.

Yayın İlkeleri

EM Dergisi, Yayın Kurulu (YK) tarafından yayına hazırlanır. YK yazıların seçimini hakem görüşlerini alarak yapar.

Yazarlara, okurlara ve kurumlara tarafsız yaklaşır.

Konu zenginliğinin korunup geliştirilmesini teşvik eder.

İçerik, dil ve biçim açısından nitelikli yayın yapar. Yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir.

Yazının EM Dergisine gönderilmesi,

- yazının herhangi bir yayın organında yayımlanmamış olduğunu,
 - EM Dergisindeki değerlendirme süreci boyunca başka bir yayın organının değerlendirme sürecinde yer almayacağını,
 - yazı kabul edildiğinde yazının basım haklarının EM Dergisine geçtiğini ve başka bir dilde ve/veya ortamda, yayıncının onayı olmaksızın yayımlanamayacağını
- gösterir.

Yazı Türleri ve Değerlendirme

EM Dergisi, yayın amaçları ve ilkeleri doğrultusunda hedef okuyucu kitlesini ilgilendiren *Makale, Uygulama, Teknik Not, İletişim, Doktora Tez Özeti ve Ödül Almış Çalışma* gibi farklı türde yazılara yer verir.

Makale, literatüre katkı sağlayan özgün yazıdır.

Uygulama, mesleki pratiğe katkı sağlayan ve mesleki bir konuda tutarlı, rasyonel ve başarılı uygulamaları anlatan yazıdır.

Teknik Not, Makale'ye göre dar kapsamlı, literatüre katkı sağlayan özgün yazıdır.

İletişim, eğitime, mesleğin icrası ve uygulamalarına genel anlamda katkı sağlayan; mesleğe yönelik felsefi tartışmalar başlatma ve mesleğe yeni açılımlar kazandırma potansiyeli taşıyan yazıdır. Meslek ve alanla ilgili eser, kitap ve yazılımları tanıtan değerlendiren yazılar da bu kapsamdadır.

Doktora Tez Özeti, doktorasının son iki yıl içerisinde tamamlanmış araştırmacıların doktora tez özeti'dir.

Ödül Almış Çalışma, (bilinen) bir ödül için jüri tarafından belirli ölçütlere göre değerlendirilmiş ve ödüle layık bulunmuş yazıdır.

Makale, Uygulama, Teknik Not ve İletişim yazıları EM Dergisi yayın amaçları ve ilkeleri ışığında YK tarafından ön değerlendirmeye alınır, hakemlik sürecinin başlatılmasına ya da yazının ret edilmesine karar verilir. Hakemlik sürecine alınan yazı en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Bu süreçte adlar iki taraftan da gizlenir. YK, hakemlerin görüşleri doğrultusunda yazıyı kabul veya ret eder veya yazının revize edilmesini ister. Değerlendirme sırasında tüm haberleşme iletişim yazarı ile yapılır.

Doktora Tez Özeti ve Ödül Almış Çalışma türü yazılar YK tarafından değerlendirilir. Gerekirse hakem görüşü alınır.

Ayrıca, EM Dergisinde tanıtım yazısı, haber, söyleşi, anı ve çeviri gibi farklı yazı türleri YK değerlendirmesi ile yayımlanabilir.

Yazı Gönderme

EM Dergisi Yazı Kuralları'na uygun bir şekilde yazılmış yazılar, elektronik ortamda <http://omys.mmo.org.tr/endustri/> adresinden gönderilir. İletişim yazısının e-posta ve posta adresleri, faks ve telefon numaraları açıkça belirtilmelidir.

JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING EDITORIAL POLICY

Journal of Industrial Engineering (EMD) is a refereed periodical which is published quarterly by TMMOB-MMO (Turkish Chamber of Mechanical Engineers).

Target Audience

The targeted audience of the journal comprises researchers, educators and practitioners in the fields of Industrial Engineering (IE) and Operations Research (OR).

Objectives of Publication

It publishes academic manuscripts on the developments, processes, and tools in the fields of IE and OR.

It publishes for the purpose of extending the successful practices in IE and OR and enabling the sharing of experiences.

It provides a ground to transfer different views on the profession and discuss these viewpoints.

It promotes the formation of a common professional language in the fields of IE and OR.

Principles of Publication

EMD is prepared for publication by the Editorial Board. The Editorial Board selects the material to be published by consulting the referees.

It holds an objective attitude towards authors, readers, and institutions.

It ensures and encourages variety in topics.

It publishes manuscripts which are qualified in terms of content, language and form.

Publication language is Turkish and English.

The fact that a manuscript is sent to EMD indicates that:

- The relevant manuscript has not been published previously in another journal.
- It will not be under the editorial evaluation of another journal as long the evaluation process in EMD continues.
- Once it has been approved for publication, EMD acquires the right to publish the manuscript and the manuscript cannot be published in a different language or domain without the approval of the publisher.

Types of Publication and Evaluation

In accordance with its publication objectives and principles, EMD gives place to a diversity of studies that are of interest to its readers such as manuscripts, applications, technical notes, communication articles, dissertation abstracts, and works which have received an award.

A manuscript is an original work which contributes to the relevant literature.

An application is an article that describes the consistent, rational and successful applications related with a professional topic, and thus, contributes to the practice of the profession.

A technical note is an original article which contributes to the relevant literature but which is limited in scope compared to a manuscript.

A communication article is an article which contributes to the practice and applications of the profession and which has a potential to initiate philosophical discussions and bring in new developments regarding the profession. Reviews of an article, a book or software related with the field are treated in this category.

A dissertation abstracts is the summary of the dissertations of the researchers who completed their PhD within last 2 years.

A prize-awarded work is an article which has been evaluated according to certain criteria by a jury and deemed worthy for a prize (that is acknowledged).

Manuscripts, applications, technical notes, and communication articles are first taken under pre-evaluation by the Editorial Board in accordance with the EMD objectives and principles of publication and a decision is made whether to initiate the process of referee evaluation or to reject the work. In the process of referee evaluation, the work is evaluated by at least two referees. The names of the both parties are kept anonymous in this process. The Editorial Board approves or rejects the articles in accordance with the comments of the referees or it asks for further revision of the articles. Throughout the evaluation process, all the communication is carried out with the contact author.

Dissertation summary and prize-awarded articles are evaluated by the Editorial Board. If needed, referee opinion can be asked.

In addition, works as diverse as reviews, news, interviews, and memoirs can be published in EMD as long as they are evaluated by the Editorial Board.

Manuscript Submission

The manuscripts complying with the norms of publication in EMD are sent electronically to <http://omys.mmo.org.tr/endustri/>. E-mail and postal addresses and fax and telephone numbers of the contact author should be clearly stated.

