

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜRETİM LOJİSTİĞİNDE SÜREÇ İYİLEŞTİRME
ve
UYGULAMASI

SELMAN KARAGÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. UMUT R. TUZKAYA

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜRETİM LOJİSTİĞİNDE SÜREÇ İYİLEŞTİRME
VE
UYGULAMASI

Selman KARAGÖZ tarafından hazırlanan tez çalışması 07.07.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Umut R. TUZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Umut R. TUZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nezir AYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Berk AYVAZ
İstanbul Ticaret Üniversitesi

ÖNSÖZ

“Üretim Lojistiğinde Süreç İyileştirme ve Uygulaması” isimli Yüksek Lisans Tezimde, beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın, iş istasyonları arasında gerçekleştirilen malzeme akışlarına ait süreçler ele alınmıştır. Süreçler, Heragu vd. tarafından ele alınan “Mathematical model for warehouse design and product allocation” isimli makaledeki matematiksel model referans alınmış ve üretim sistemi içerisindeki iş istasyonları arası malzeme taşıma süreçlerinin düzenlenmesi için revize edilmiş ve yeni bir matematiksel optimizasyon modeli ortaya konmuştur. Matematiksel model, Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) – Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), ABC / XYZ Analizleri gibi yöntemlerle desteklenerek yeni bir hibrid yaklaşım meydana getirilmek istenmiştir. Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemyen danışmanım Syn. Doç. Dr. Umut TUZKAYA’ya, yanımda duran çalışma arkadaşlarıma ve manevi desteklerini her daim hissettiğim anneme ve babama teşekkür etmeyi bir borç bilirim. İlk akademik çalışmam olan yüksek lisans tezimin, nice akademik çalışmalarımın öncüsü olması dileklerle.

Haziran, 2015

Selman KARAGÖZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Orijinal Katkı	2
BÖLÜM 2	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	
LOJİSTİK KAVRAMI TARİHSEL GELİŞİMİ ve TEMEL KAVRAMLAR	11
3.1 Lojistiğin Tarihçesi	13
3.2 Üretim Lojistiği.....	14
3.3 Üretim Kontrol Sistemleri	15
3.3.1 İtme Sistemi.....	15
3.3.2 Çekme Sistemi.....	16
3.3.2.1 Kanban Sistemi	16
3.3.2.2 CONWIP Sistemi.....	17
3.3.2.3 Tek Parça Akış Sistemi.....	17
BÖLÜM 4	

BEYAZ EŞYA ÜRETİMİ YAPAN BİR İŞLETMEDE ÜRETİM LOJİSTİĞİ SÜREÇ İYİLEŞTİRME UYGULAMASI	19
4.1 Matematiksel Model	20
BÖLÜM 5	
ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI.....	26
5.1 Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)	26
5.1.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	27
5.2 Bulanık Sistemler.....	29
5.2.1 Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Modelleri.....	31
5.2.1.1 Sakawa ve Nishizaki Etkileşimli Bulanık.....	32
BÖLÜM 6	
UYGULAMA	37
6.1 Model Verilerinin Belirlenmesi	39
6.1.1 Ürünlerin Akışlara Göre Ağırlık Değerlerinin (v_{ij}) Hesaplanması....	46
6.1.2 Ürün (i) – Akış (j) Ataması için AHP Adımlarının	52
6.2 Matematiksel Modelin Sakawa ve Nishizaki Bulanık	61
6.3 Sonuçların Analizi	65
6.4 Senaryo Analizi.....	66
BÖLÜM 7	
SONUÇ ve ÖNERİLER	69
7.1 Sonuç	69
7.2 Öneriler	70
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGE LİSTESİ

AD_i	i ürününe ait yıllık talep oranı
A_i	i ürünü için sipariş maliyeti
P_i	i ürününün birim (adet) maliyeti
p_i	$j = 3$ numaralı akış atanırsa, i ürününün Fabrika Rafı'nda bekleme süresi
q_{ij}	i ürünü için j fonksiyonel alanları arasında yaptığı taşıma sayısı
a	Buffer Alanı için kat seviyesi
b	Fabrika Rafı için kat seviyesi
c	İstasyon 2 Rafı için kat seviyesi
r	Envanter taşıma maliyeti oranı
H_{ijk}	Bir birim i ürününü j akışında k aracıyla taşıma maliyeti
CS_{ij}	Bir birim i ürününü j akışında bir yıllık elde bulundurma maliyeti
S_i	Bir birim yük i ürününü depolamak için gerekli olan alan
TS	Mümkün olan toplam depolama alanı
OQ_i	i ürününün sipariş miktarı (birim yük)
T_i	Bir birim yük i ürününün
UL_{bf}	Buffer Alanı'nın depolama alanı için yüzey limiti
UL_{fr}	Fabrika Rafı'nın depolama alanı için yüzey limiti
UL_{ws}	İstasyon 2 Rafı'nın depolama alanı için yüzey limiti
v_{ij}	Her ürünün her akış için aldığı ağırlık skoru değeri
X_{ij}	i ürününün j akışına atanma değeri
Y_{ik}	i ürününün k aracına atanma değeri
α, β, γ	Buffer Alanı, Fabrika Rafı, İstasyon 2 Rafı alanlarının toplam alandaki yüzdesi
ND_k	İhtiyaç duyulan k taşıma aracı adedi
IC_k	k aracına ait satın alma ya da kira bedeli
N_{ijk}	j akışında k aracıyla taşınan yıllık ortalama i ürünü adedi
LUL_{ijk}	i ürünü için j akışında k aracı üzerinde yaptığı yükleme boşaltma süresi
d_{ijk}	i ürünün j akışında k aracıyla taşınırken yükleme boşaltma için aldığı mesafe
L_{kj}	j akışında k aracının ürün ile yüklüken aldığı sürenin yüzdesi
SP_{kj}	j akışında k aracının ortalama hızı (m/s)
OP_{kj}	j akışında k aracını kontrol etme maliyeti
cap_k	her k aracına ait ürün taşıma kapasitesi
W	Özvektör değeri
$\lambda_{\max}$	En büyük özvektör
DW	Karar matrisi değeri

R	Sonuç vektörü
$\mu A(u)$	Üyelik fonksiyonu
Z_0^k	k kadar karar vericinin amacı
δ	Üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi
α	Alt seviye karar vericinin tatmin seviyesi
Δ	Memnuniyet seviyesi

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
CSCMP	Lojistik Yönetimi Konseyi
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DP	Doğrusal Programlama
EDI	Elektronik Veri Değişimi
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması
IPS	Etkileşimli Parçacık Sistemi
JIT	Tam Zamanında Üretim
LTL	Yarım Dolu Yük
MRP	Malzeme İhtiyaç Planlaması
MTM	Yöntem – Süre – Ölçüm
VSM	Değer Akış Haritalama
TL	Türk Lirası
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yayınların uygulama alanlarına göre yüzdelik dağılımları	9
Şekil 2.2 Yayınların uygulama alanlarına göre yüzdelik dağılımları	9
Şekil 2.3 Yayın sayılarının yıllara göre dağılımı	10
Şekil 3.1 Yayın sayılarının yıllara göre dağılımı	16
Şekil 3.2 Kanban sisteminde malzeme ve bilgi akışı.....	17
Şekil 3.3 CONWIP sisteminde malzeme ve bilgi akışı	17
Şekil 3.4 Tek parça akış sisteminde malzeme ve bilgi akışı.....	18
Şekil 4.1 Malzeme akış şeması	19
Şekil 5.1 AHP'nin hiyerarşik yapısı	27
Şekil 5.2 İkili karşılaştırma matrisi	28
Şekil 5.3 Bulanık sistemlerin genel yapısı.....	30
Şekil 6.1 Proses akış şeması	37
Şekil 6.2 Palet üzerindeki plastik levhalar.....	38
Şekil 6.3 Plastik levhaların işlem gördükten sonraki formu	38
Şekil 6.4 AHP yapısı.....	47
Şekil 6.5 X, Y ve Z tipi ürün karakteristikleri	48
Şekil 6.6 Her i ürününe ait yıllık talep değerlerini gösteren ekran görüntüsü	49
Şekil 6.7 Her i ürününe ait ABC Analizi ekran görüntüsü	49
Şekil 6.8 Her j akışının uygun karakteristiğe sahip i ürünü için uygunluk tablosu	50
Şekil 6.9 X_{ij} karar değişkenine ait atama sonuçları	64
Şekil 6.10 X_{ij} karar değişkenine ait yeni atama sonuçları	67

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Literatür özeti	5
Çizelge 5.1 Saaty'nin AHP önem ölçeği	28
Çizelge 6.1 i ürünlerinin t raflarındaki adet cinsinden birim parti	39
Çizelge 6.2 Her i ürününün j akışında yıllık elde bulundurma maliyeti (TL/adet)	40
Çizelge 6.3 Her i ürününün j akışında yıllık elde bulundurma maliyeti (TL/adet)	40
Çizelge 6.4 Her i ürününe ait birim sipariş parti boyutu (adet)	41
Çizelge 6.5 Her i ürününün kapladığı yüzey alanı (m^2 /adet)	41
Çizelge 6.6 Her k aracına ait yıllık satın alma ya da kira bedeli (adet/yıl)	42
Çizelge 6.7 Her k aracına ait yıllık satın alma ya da kira bedeli (adet/yıl)	43
Çizelge 6.8 Her j akışında k aracıyla taşınan yıllık ortalama i ürünü adedi (adet/yıl)....	43
Çizelge 6.9 Her i ürünü için j akışında k aracı ile yapılan yükleme ve boşaltma	44
Çizelge 6.10 Her i ürünü için j akışında k aracı ile yapılan yükleme ve boşaltma	44
Çizelge 6.11 Her i ürünü için j akışında k aracıyla taşınırken yükleme	45
Çizelge 6.12 Her j akışında k aracının ortalama hızı (m/dk)	46
Çizelge 6.13 Her j akışında k aracını kontrol etmek için gerekli olan işçilik maliyeti ...	46
Çizelge 6.14 Her k aracının yıllık ürün taşıma kapasitesi (adet/yıl)	46
Çizelge 6.15 Her i ürünü için AHP karşılaştırmaları	52
Çizelge 6.16 Varyasyon Katsayısı kriterine göre alternatiflerin	57
Çizelge 6.17 Parti Boyutu kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması	57
Çizelge 6.18 Birim Fiyatı kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması	57
Çizelge 6.19 Varyasyon Katsayısı kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması	57
Çizelge 6.20 F1 Akışı için Varyasyon Katsayısı kriterine göre normalizasyon işlemi ..	58
Çizelge 6.21 Varyasyon Katsayısı kriterine göre ağırlıkların elde edilmesi	58
Çizelge 6.22 Varyasyon Katsayısı kriterine göre CR değerinin hesaplanması	58
Çizelge 6.23 RI değerleri	59
Çizelge 6.24 $i = 1$ ürünü için alternatiflerin kriterler bazında ağırlıklı değerleri	59
Çizelge 6.25 $i = 1$ ürünü için kriter ağırlıkları	59
Çizelge 6.26 $i = 1$ ürünü için alternatif j akışlarının sonuç ağırlık değerleri	60
Çizelge 6.27 Her i ürünü için sonuç ağırlık değerleri	60
Çizelge 6.28 Modele ait ödünleşme tablosu	61
Çizelge 6.29 Y_{ik} karar değişkenine ait atama sonuçları	64
Çizelge 6.30 Üç aşamaya ait sonuç değerleri	65
Çizelge 6.31 Güncellenen IC_k değerleri	66
Çizelge 6.32 Y_{ik} karar değişkenine ait yeni atama sonuçları	67
Çizelge 6.33 Üçüncü aşamaya ait eski ve güncel sonuç değerlerinin karşılaştırması	68

**ÜRETİM LOJİSTİĞİNDE SÜREÇ İYİLEŞTİRME
VE
UYGULAMASI**

Selman KARAGÖZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Umut R. TUZKAYA

Lojistik operasyonlar, tesisler arası ya da tesisler ile müşteriler arası taşımalarda olduğu kadar, üretim sistemleri içerisindeki iş istasyonları arasındaki taşımaların düzenlenmesi açısından da işletmeler için kritik önem taşımaktadır. Üretim sistemleri içerisindeki taşımada, tesisler arası ya da tesis müşteri arası lojistik sistemlerindeki müşterinin yerini, bir sonraki iş istasyonları, talep tahminlerinin ya da siparişlerin yerini ise üretim planı almaktadır. Üretim sistemleri içerisindeki tedarik zincirini, iş istasyonları arasındaki ilişkiler şekillendirmektedir.

Depo yönetim sistemlerindeki fonksiyonel alanların tasarımı ve ürünlerin ilgili fonksiyonel alanlara atanması, üretim lojistiği için de önem arz etmektedir. Bu önem dahilinde mevcut çalışmada, beyaz eşya üreticisi bir firmanın belirli iş istasyonları arasındaki ürün akışları analiz edilmiştir. Uygun malzeme akışlarının belirlenmesi, ürünlerin karakteristik özelliklerine uygun malzeme akışlarına atanması, uygun taşıma araçlarının ve miktarlarının belirlenmesi gibi amaçlar dahilinde çok amaçlı bir doğrusal olmayan matematiksel model geliştirilmiştir. Malzeme akışlarının karakteristik özelliklerinin analiz edilmesi için ABC/XYZ Analizleri'nden ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)' den, matematiksel modelin çözüme kavuşturulması için ise Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV)

tekniklerinden Sakawa ve Nishizaki Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı'ndan faydalanılmıştır. Matematiksel model, GAMS yazılımı kullanılarak çözüme kavuşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Üretim lojistiği, bulanık mantık, ÇAKV, ÇKKV, Sakawa ve Nishizaki, ABC/XYZ analizi, doğrusal olmayan matematiksel optimizasyon

ABSTRACT

PROCESS IMPROVEMENT IN MANUFACTURING LOGISTICS AND ITS APPLICATION

Selman KARAGÖZ

Department of Industrial Engineering
MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Umut R. TUZKAYA

Logistics operations in a manufacturing system have critic importance just like for the trasportations betwee facilities or facility and customers. Working stations are the customers of each others and the production plan is the order in a manufacturing logistics system.

The design of the functional areas and assignment of the goods to the related fuctional areas in the warehouse management system (WMS) are also critic activities for the manufacturing logistics systems. With an eye to this importance, material flows between some of the working stations of a household appliance company were analyzed. A multi objective non-linear mathematical optimization model was generated to determine the suitable material flows for the goods, to assign the goods to the suitable material flows and to determine the number and the types of the material handling devices for the manufacturing system. ABC/XYZ Analyses and Analytical Hierarchy Process (AHP) were applied to determine the characteristics of the goods for the material flows. The mathematical model was solved by the Sakawa and Nishizaki Fuzzy Multi Objective Approach and GAMS software was used.

Keywords: Manufacturing logistics, fuzzy, MODM, MCDM, Sakawa and Nishizaki, ABC/XYZ analyses, non-linear mathematical optimization

1.1 Literatür Özeti

Yapılan literatür araştırmasında genel olarak depo tasarımı, depo yönetimi, tesis tasarımı, tedarik zinciri yönetimi, üretim lojistiği, süreç analizi vb. konulardaki makaleler incelenmiştir. 1985 – 2014 yılları arasındaki yayımlar arasında yapılan araştırma sonucunda, çoğunlukla deterministik modeller üzerinde durulduğu görülmüştür. Yapılan çalışmaların çoğunluğunu doğrusal matematiksel optimizasyon modellerinin oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte Simülasyon, Genetik Algoritma, Sezgisel Yaklaşım, Doğrusal Olmayan Modelleme, Değer – Akış Haritalama vb. yaklaşımlara da başvurulduğu görülmektedir. Üretim lojistiğinde karar verme, atama, bulanık mantık yaklaşımı gibi konularda boşluk olduğu anlaşılmaktadır. Literatür araştırmasının detayları, Bölüm 2’ de ele alınmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Lojistik operasyonlar, yalnızca tesisler arası ya da tesisler ile müşteriler arası taşımalarda değil, aynı zamanda üretim sistemleri içerisindeki iş istasyonları arasındaki taşımaların düzenlenmesi ve üretim verimliliğinin sağlanması açısından da işletmeler için önem arz etmektedir. Depo yönetimin parçası olan depo tasarımı, ürünlerin ilgili fonksiyonel depolama alanlarına atanması, taşıma araçlarının belirlenmesi vb. konular üretim sistemleri içerisindeki lojistik faaliyetlerin düzenlenmesi için de kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada, beyaz eşya üretimi yapan bir işletmenin buzdolabı iç plastik kaplama yarı mamulünün üretim prosesleri analiz edilmiştir. Malzeme akışlarının düzenlenmesi için dört farklı akış türü belirlenmiştir ve ürünler karakteristiklerine uygun olan akışlara atanmak istenmektedir. Bununla birlikte, proses

içerisindeki tedarik zinciri sürecine ait istasyonlar arası depolama alanlarının (fonksiyonel alanlar) tasarımı, ürünlerin uygun taşıma araçlarına atanması, taşıma ve depolama maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, Heragu vd. [1] tarafından ele alınan depo tasarımı ve ürün atama matematiksel modeli, çok amaçlı bulanık optimizasyon modeli olarak geliştirilmek ve üretim içi taşıma proseslerine adapte edilmek istemektedir.

1.3 Orijinal Katkı

Mevcut çalışmada, depo tasarımı ve ürünlerin depo içi atamalarının sağlanması için kullanılan matematiksel model geliştirilmiş ve üretim içerisindeki yarı mamül üretim prosesi için yeniden uyarlanmıştır. Matematiksel model, çok amaçlı bulanık optimizasyon modeli haline dönüştürülmüştür ve doğrusal olmayan matematiksel model olarak çözümlenmiştir. Mevcut matematiksel modele, taşıma araçları da dahil edilmiştir. Ürünlerin taşıma araçlarına atanması ve hangi tip taşıma aracına kaç adet ihtiyaç duyulduğu sonucuna da ulaşılmaya çalışılmıştır. Taşıma maliyetlerine, taşımada kullanılan araç türü de dahil edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen ürünlerin (yarı mamüllerin) karakteristik özellikleri ABC/XYZ Analizleri ile belirlenmiştir ve bu sonuçlar dahilinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) aracılığıyla mevcut malzeme akışlarından en uygun olanına atanmaya çalışılmıştır. Matematiksel model, üç amaç fonksiyonlu (Taşıma ve depolama maliyeti minimizasyonu, AHP ağırlıkları maksimizasyonu) bir çok amaçlı optimizasyon modeline dönüştürülmüştür. Mevcut model, Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme tekniklerinden Sakawa ve Nishizaki Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı ile çözüme kavuşturulmuştur. Sakawa ve Nishizaki Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı, her amaç için farklı tatmin seviyeleri belirlenerek matematiksel model üzerine entegre edilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ashayeri ve Gelders [2] tarafından depo tasarımı problemleri için analitik ve simülasyon yaklaşımları olmak üzere iki farklı yaklaşımda bulunulmuştur. Her iki yaklaşımın da tek başına yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır ve her iki yaklaşımın birleşiminden oluşan bir öneride bulunmuşlardır. Ardından Bozer [3] palet raflarının üst depolama (upper reserve area) ve alt sevkiyat alanı (lower forward area) olarak ikiye ayrıldığı bir model ileri sürmüştür. Hackman ve Rosenblatt [4], fonksiyonel alanlar için atama problemi ele almıştır. Ürün atamalarını ve miktar tahsislerini içeren forward/reserve problemi için bir model ortaya koymuşlardır. Bu doğrultuda Hackman ve Platzman [5] depoda atama ve yerleştirme aşamalarını genel olarak ele alan bir matematiksel model ele almışlardır. Atama problemleri kapsamında Tsui ve Cheng [6] treylerlerin rıhtımdaki kapılara atanması ile ilgili bir problem üzerinde çalışmıştır. Fonksiyonel alan tasarımı ve ürün atamalarıyla birlikte kapasite kısıtlı matematiksel modeller kapsamında Cormier ve Gunn [7] tarafından iş kapasiteli modeller, depo kapasiteli modeller ve depo tasarımı modelleri üzerine araştırma yapılmıştır. Gray vd. [8] hiyerarşik bir tasarım modeli tanımlamışlar ve örnek bir model ile açıklamışlardır. Sipariş toplama operasyonları kapsamında Yoon ve Sharp [9] sipariş toplama sistemleri tasarımı için yeni bir konsept sunmuştur. Van den Berg vd. [10] reserve toplamanın mümkün olduğu, meşgul ve boş periyodlara sahip bir depo modeli ortaya koymuştur. Bununla birlikte Van den Berg [11] tarafından depo sistemlerinin planlanma ve kontrol teknikleri üzerine literatür araştırması yapılmıştır. Depolanan ürünlerin optimal parti boyutu incelemesi doğrultusunda De Koster vd. [12] depolarda optimal parti birleştirme metodu belirlemek için deneysel yaklaşım yönteminden faydalanmışlardır. Depo içerisindeki operasyonların tasarımı doğrultusunda Napolitano [13] cross-dock operasyonlarının planlanması, tasarlanması ve uygulanması ile ilgili yol gösterici bir

Çalışma ortaya koymuştur. Rouwenhorst vd. [14] depo tasarımı ve kontrolü modellerinin sınıflandırıldığı bir literatür araştırması çalışması gerçekleştirmiştir. Yaptıkları araştırma sonucunda yapılan yayınların çoğunluğunu analiz tabanlı ve depo yönetimi modellerde tasarım tabanlı yaklaşımlar için yol gösterici nitelikte olduğu sonucuna varmışlardır. Depolama ve taşıma işlemlerinin maliyet tabanlı analizi kapsamında Bartholdi ve Gue [15] yarım dolu (LTL) yk terminalinde operasyonel maliyetleri minimize etmeyi hedefleyerek tesis tasarımı gerçekleştirmek için taşıma maliyeti tabanlı bir optimizasyon modeli çalışması ortaya koymuştur. Bununla birlikte Li ve Ouyang [16] sabit maliyetler ve taşıma maliyetlerinin minimizasyonu için süreç benzetme yaklaşımından faydalanarak bir tesis tasarımı modeli geliştirmişlerdir. Pekarcikova vd. [17] üretim sistemi içerisindeki taşımalarda taşıma maliyetlerini azaltmak için CRAFT yaklaşımı kullanılarak bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Zamanla depo tasarımı kapsamında Genetik Algoritma bazlı araştırmalarda artış görülmektedir. Poulos vd. [18] pareto-optimal geneteik algoritma yöntemiyle çok amaçlı depo optimizasyonu modeli ortaya koymuşlardır. Genetik Algoritma alışmaları ile birlikte Lai vd. [19] depoda yerleşim yeri tasarımı için iki aşamalı sezgisel algoritmalı yaklaşım ortaya koymuşlardır. nceki çalışmalardan farklı olarak Zhang vd. [20] çok katlı depo tasarımı için sınıf bazlı genetik algoritma yaklaşımı modeli ortaya koymuşlardır. Depo tasarımının yanında, depo yönetimi ve kapasite optimizasyonu dahilinde Lee ve Elsayed [21] belirli bir depolama politikası altında doğrusal olmayan depolama kapasitesi optimizasyonu modelini deneysel genetik algoritma yöntemi ortaya koymuşlardır. İleriki dönemlerde yapılan çalışmalarda Genetik Algoritma'ya farklı yaklaşımlar dahil edilerek yeni çalışmaların yapıldığı gözlemlenmektedir. Bu kapsamda Zhang ve Lai [22], çok katlı depo tasarımı modeli için rota birleştirme (path relinking) ve genetik algoritma yaklaşımlarından faydalanmışlardır. Üretim lojistiği çalışmaları kapsamında Greasley [23] retim tesislerinde depolama alanı optimizasyonu için kesikli simülasyon modeli geliştirmiştir. Bu kapsamda farklı bir yaklaşım olarak Ezaki vd. [24] Etkileşimli Parçacık Sistemi (IPS) ile üretim sistemi içerisindeki malzeme akışlarının düzenlenmesi ile ilgili bir yönelimli ağaç modeli geliştirmişlerdir. Üretim içerisindeki taşıma faaliyetlerinin optimizasyonu konusunda Becker vd. [25], farklı bir çalışma olarak trafik modellerindeki bekleme süresi azaltma ve senkronize hareket oluşumu yaklaşımlarının üretim lojistiğine aktarılması için yeniden düzenlenmesiyle oluşturulan bir simülasyon çalışması ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde Filiger vd. [26] buffer

seviyesinin bağımlı olduğu üretim sistemleri içerisindeki malzeme akışlarını otoyoldaki araçların akışına benzeterek ölçüsüz dinamik parametre içeren bir tasarım modeli geliştirmişlerdir. Tesis tasarımı çalışmalarında matematiksel optimizasyon ile birlikte karar verme işlemlerinin de gerçekleştirildiği görülmektedir. Hadi-Vencheh ve Mohamadghasemi [27] tesis tasarımı problemi için doğrusal olmayan AHP modeli geliştirmişlerdir. Tesis tasarımı modellerine farklı bir yaklaşım olarak Konak [28], farklı alanlı tesis tasarımı modelleri için olasılıksal tabu arama algoritması bazlı doğrusal programlama geliştirmiştir. Atama ve tasarım modelleri dışında lojistik faaliyetlerin analizi için Değer Akış Haritalama (VSM) yönteminden de faydalanıldığı görülmektedir. Bauer [29] çok ürünli üretim sistemlerine ait lojistik ağlarının görselleştirilmesi için Değer Akış Haritalama (VSM) yönteminden faydalanmıştır. Kuhlang vd. [30] iş istasyonlarının yeniden tasarlanması ve üretim içi lojistik akışlarının temin süresini azaltmak ve akışlar arası verimliliği artırmak amacıyla yeniden düzenlenmesi için Değer Akış Haritalama (VSM) ve Yöntem – Süre – Ölçüm (MTM) yöntemlerinin birleşimiyle yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlardır.

Çizelge 2.1 Literatür özeti

No.	Yazar	Yıl	Metot	Amaç	Uygulama Alanı
1	Ashayeri ve Gelders	1985	Analitik, Simülasyon	Tesis Tasarımı Yönetimi	Depo Tasarımı
2	Bozer	1985	Matematiksel optimizasyon	Sipariş toplamada verimliliğin artırılması	Depo Yönetimi
3	Hackman ve Rosenblatt	1990	Atama modeli, sezgisel Yaklaşım	Sipariş toplama ve ikmal için maliyet minimizasyonu	Depo Yönetimi
4	Hackman ve Platzman	1990	Matematiksel Optimizasyon, Doğr. Olmayan Algoritma	Kaynak atama problemlerinin çözümü	Depo Yönetimi
4	Hackman ve Platzman	1990	Matematiksel Optimizasyon, Doğr. Olmayan Algoritma	Kaynak atama problemlerinin çözümü	Depo Yönetimi
5	Tsui ve Cheng	1992	Matematiksel Modelleme, Bi-Doğr. Prog.	Gelen yüklerin uygun kapılara atanması	Depo Yönetimi

Çizelge 2.1 Literatür özeti (devamı)

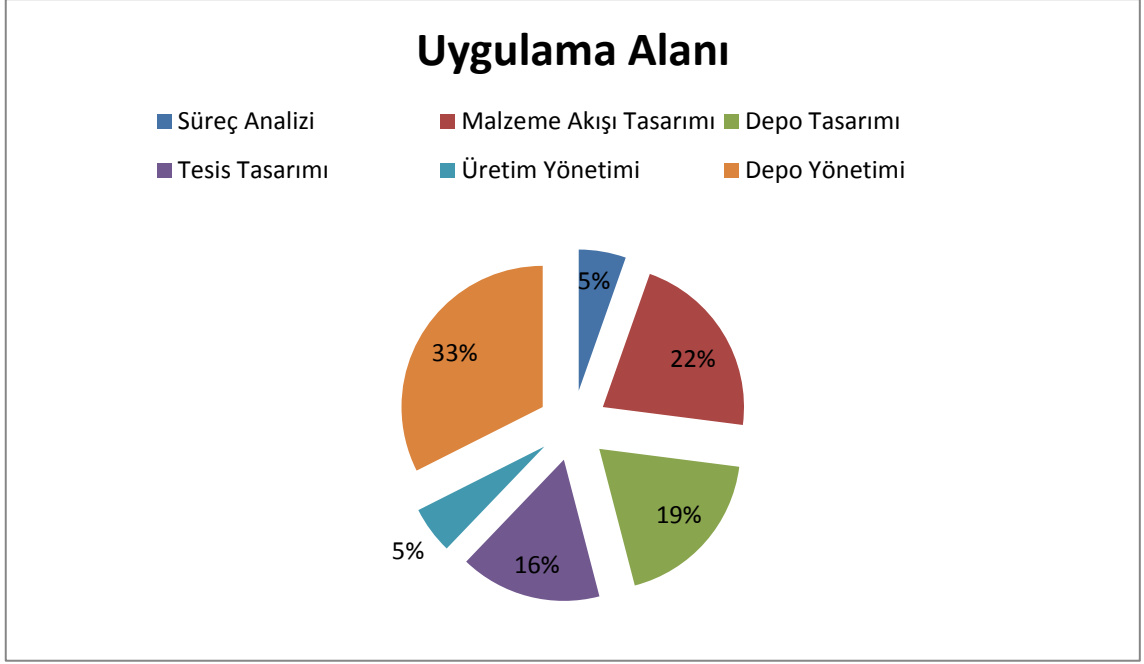
No.	Yazar	Yıl	Metot	Amaç	Uygulama Alanı
6	Cormier ve Gunn	1992	Literatür araştırması	Verimlilik optimizasyonu	Depo Yönetimi
7	Gray vd.	1992	Çok Aşamalı Hiyerarşik Karar Verme, Matematiksel Model, Simülasyon	Ekonomik ödünleşmelerin minimizasyonu, alternatif sayılasının minimizasyonu	Depo Yönetimi
8	Yoon ve Sharp	1996	Atama Modeli	Sipariş toplama sistemi tasarımı	Depo Yönetimi
9	Van den Berg vd.	1998	Matematiksel Optimizasyon, Doğrusal ve Tamsayılı Programlama	İşçi sayısını minimize edecek ikmal yönteminin belirlenmesi	Depo Yönetimi
10	Napolitano	2000	Matematiksel Optimizasyon	Cross-dock operasyonlarının planlanması	Depo Yönetimi Tesis Tasarımı
11	Rouwenhorst vd.	2000	Literatür Araştırması	Tasarım ve analiz bazlı modeller	Depo Yönetimi
12	Bartholdi ve Gue	2000	Matematiksel Optimizasyon	Maliyet minimizasyonu, tesis tasarımı	Depo Yönetimi
13	Poulos vd.	2001	Çok Amaçlı Optimizasyon, Genetik Algoritma	Kaynak kullanım optimizasyonu, maliyet minimizasyonu	Depo Yönetimi
14	Lai vd.	2002	Matematiksel Optimizasyon, Simülasyon, Sezgisel Yaklaşım	Taşıma maliyetlerinin minimizasyonu, tesis yerleşimi	Depo Tasarımı
15	Filiger vd.	2005	Doğrusal Dinamik Tepki Teorisi, Optimal Hız Modeli	Üretim sistemi içerisindeki malzeme akışlarının tasarımı	Malzeme Akışlarının Tasarımı
16	Bilici vd.	2006	Çok Amaçlı Modelleme, Matematiksel Optimizasyon	Yalın üretim için fabrika içi araç rotalama	Malzeme Akışlarının Tasarımı
17	Zhang vd.	2006	Genetik Alg.	Çok katlı depo pr.	Depo Tas.

Çizelge 2.1 Literatür özeti (devamı)

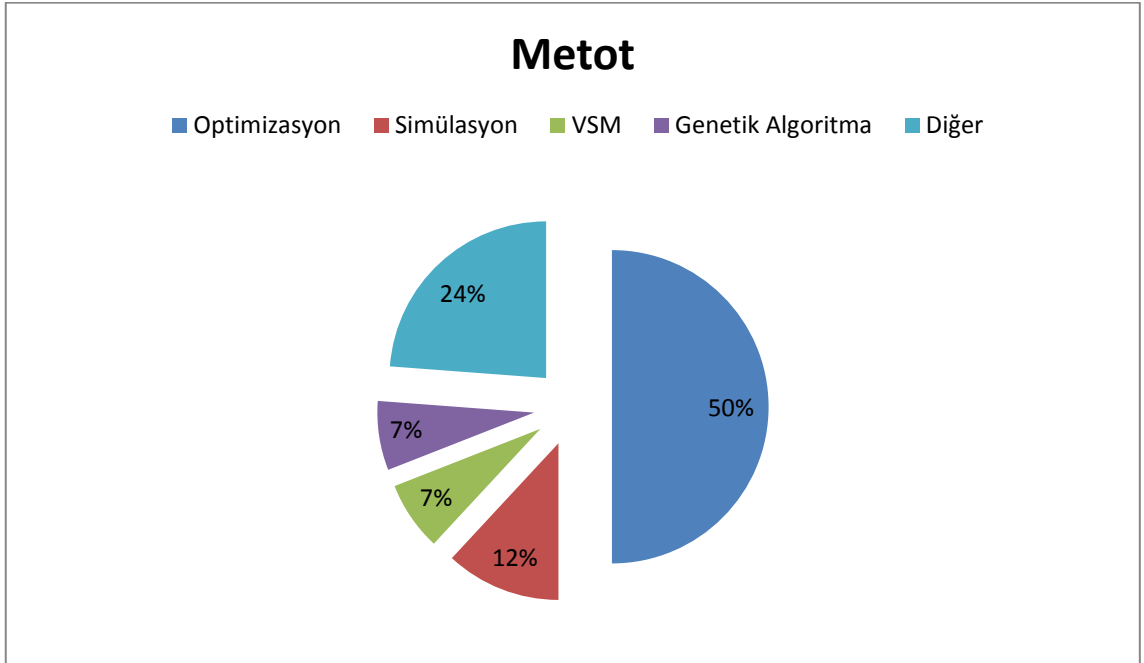
No.	Yazar	Yıl	Metot	Amaç	Uygulama Alanı
18	Lee ve Elsayed	2007	Doğr. Olmayan Programlama, Genetik Algoritma	Depolama maliyeti minimizasyonu	Depo Tasarımı
19	De Koster vd.	2007	Literatür Araştırması	Sipariş toplama tasarımı ve kontrolü	Depo Tasarımı
20	Drira vd.	2007	Matematiksel Optimizasyon	Tesis tasarımı ve malzeme taşıma problemlerinin sınıflandırılması	Tesis Tasarımı
21	Domingo vd.	2007	Değer Akış Haritalama (VSM)	Üretim sistemleri için malzeme taşıma sistemi geliştirilmesi	Süreç Analizi
22	Greasley	2008	Kesikli Simülasyon	Depolama alanı belirlenmesi	Depo Tasarımı, Üretim Lojistiği
23	Kopanos vd.	2008	Matematiksel Optimizasyon, Karışık Tamsayılı Programlama	Üretim planlamada zamanlama ve sıralama problemlerinin çözülmesi	Malzeme Akışlarının Tasarımı
24	Önüt vd.	2009	ÇKKV, Bulanık TOPSIS, Bulanık ANP	Üretim sistemleri için uygun taşıma araçlarının seçilmesi	Üretim Yönetimi
25	Fazlollahtabar vd.	2010	Matematiksel Optimizasyon	Üretim sistemlerindeki AGV ile taşımaların optimizasyonu	Malzeme Akışlarının Tasarımı
26	Li ve Ouyang	2011	Matematiksel Optimizasyon, Tamsayılı Programlama, Lagrange Eşitliği	Sabit maliyetleri ve işçilik maliyetlerin minimizasyonu	Depo Tasarımı
27	Kuhlang vd	2011	Metot-Zaman-Ölçme (MTM), Değer-Akış Haritalama (VSM)	Prosesleri standardizasyonu, Yalın Üretim, Ergonomik istasyonlar	Tesis Tasarımı

Çizelge 2.1 Literatür özeti (devamı)

No.	Yazar	Yıl	Metot	Amaç	Uygulama Alanı
28	Kılıç vd.	2012	Matematiksel Optimizasyon, Karışık Tamsayılı Programlama	Yalın üretim sistemlerinde milk-run sınıflandırılması ve rotalanması	Malzeme Akışlarının Tasarımı
29	Konak	2012	Olasılıksal Tabu Arama Algoritması, Doğrusal Prog.	Tesis yerleşimi optimizasyonu	Tesis Tasarımı
30	Ezaki vd.	2012	Etkileşimli Parçacık Sistemi (IPS)	Üretim sistemi içerisindeki malzeme akışlarının düzenlenmesi	Üretim Yönetimi
31	Becker vd.	2012	Simülasyon	Malzeme akışlarında bekleme süresi azaltma ve senkronizasyon	Malzeme Akışlarının Tasarımı
32	Kılıç vd.	2013	Matematiksel Optimizasyon, Karışık Tamsayılı Programlama, Sezgisel Yaklaşım	Yalın üretim sistemlerinde milk-run uygulaması	Malzeme Akışlarının Tasarımı
33	Hadi-Vencheh ve Mohamadghasemi	2013	Doğr. Olmayan Programlama, Analitik Hiyerarşi Prosesi	Tesis yerleşimi modeli için kalitatif ve kantitatif kriterlere göre optimizasyon	Tesis Tasarımı
34	Confessore vd.	2013	Matematiksel Optimizasyon, Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama	Tesis için optimal malzeme akış sisteminin belirlenmesi	Malzeme Akışlarının Tasarımı
35	Bauer	2014	Değer Akış Haritalama (VSM)	Karmaşık ürünlerin temin süreçlerinin şeffaflaştırılması	Süreç Analizi
36	Pekarcikova vd.	2014	Matematiksel Optimizasyon., Craft	Taşıma maliyetleri minimizasyonu	Süreç Analizi



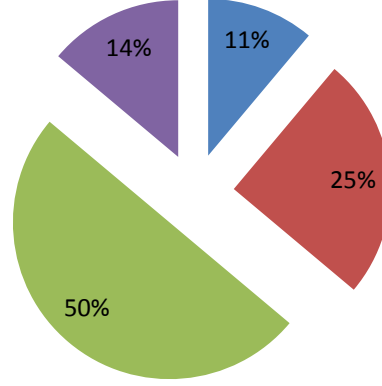
Şekil 2.1 Yayınların uygulama alanlarına göre yüzdelik dağılımları



Şekil 2.2 Yayınların uygulama alanlarına göre yüzdelik dağılımları

Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

■ 1980-1990 ■ 1991-2001 ■ 2002-2012 ■ 2013-...



Şekil 2.3 Yayın sayılarının yıllara göre dağılımı

LOJİSTİK KAVRAMI TARİHSEL GELİŞİMİ ve TEMEL KAVRAMLAR

Lojistik kelimesi kapsamlı bir terim olmasının yanında öncelikle askeri faaliyetlerde ortaya çıkmıştır. Askeri lojistikte malzemenin (silah) haricinde asker (insan), barınma, yiyecek-içecek, bakım-onarım vb hizmetler de uyumlu bir şekilde verilmeye çalışılmaktadır. İlerleyen dönemlerde askeri terim olmaktan çıkarak sivil yaşamda da anlam kazanmıştır [31]

Sivil literatürde ise, hizmet verilen müşterilerin gereksinimleri doğrultusunda ele alınan ham maddenin başlangıç noktasından, ürünün tüketildiği bitiş noktasına kadar olan tedarik zinciri içindeki malzemelerin, servis hizmetlerinin ve bilgi akışının etkili ve verimli bir şekilde, her iki yöne doğru taşınmasının, depolanmasının, planlanması uygulanması ve kontrol edilmesidir. Bu tanım profesyonel lojistik organizasyonu, Lojistik Yönetimi Konseyi (CSCMP) tarafından yapılmış olan kapsamlı bir tanım olup, malların (hammadde, yarı mamul, mamul) çeşitli dağıtım noktalarına, fabrikalara, stok yerlerine (depo) veya müşterilere değişen uzaklıklarda taşınmasının gerekliliği belirtilmektedir [31].

Tuna'ya göre lojistik, doğru ürünü, doğru zamanda, doğru yere hasarsız bir şekilde taşımayı hedeflemekte bu çerçevede ürün ya da hizmetler için önemli bir "değer yaratıcı faaliyet" olarak değerlendirilmektedir [31]. Baki ve Şimşek'e göre Stok perspektifi açısından lojistik; hammadde, ara mamul ve mamullerin ister hareket halinde ister hareketsiz halde stok kontrolünün etkili bir biçimde yönetilmesidir [31]. Lojistiğin temel gayesi, müşteriye yüksek memnuniyette hizmet sunmak, kaynakları ve yatırımları verimli kullanarak rekabette üstünlük elde etmektir [31].

Lojistik kavramı dış ticarete yönelik kullanıldığında ise kavramın taşıdığı anlam sınırlandırılmaktadır. Bu durumda lojistik; belirli bir bedel karşılığında müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak nihai bir ürünün ihracatçı ülkedeki üretim yerinden, ithalatçı ülkedeki tüketim noktasına ulaştırılmasını sağlayan tüm faaliyetler ve bunların yönetimi şeklinde ifade edilmektedir. Lojistiğin amacı, iş süreçleri arasında, bilgi ve malzeme akışının kurum içerisinde tasarımı, kontrolü ve düzenlenmesidir. Bunlar, işçilerden şirkete ve en tabandaki müşteriye kadarki ilişkileri içerirler. Birdoğan'a göre Geniş bir ifade ile lojistiğin görevi, ürün, hammadde ve yardımcı malzemelerin ihtiyaç duyulduğunda, uygun koşullarda, ihtiyaç olan yerde en düşük maliyetle teslimatını sağlamaktır [31].

Küreselleşen dünya ekonomisinde şirketlerin içine girmiş oldukları rekabet ortamı, firmaları üretim süreçlerinde birçok noktadan çekilerek bu aşamaları faaliyet, zaman ve kalite açısından kontrol edebilecekleri başka şirketlere devretmeye yöneltmektedir. Bu doğrultuda firmalar maliyetlerini aşağıya çekerken hız açısından da rekabet edebilir duruma gelmişlerdir. Böylelikle önceleri nakliyecilik yapan firmalar taşımanın çok daha ötesinde hizmet vermeye başlamışlardır. Bu eğilimin uluslararası ticaretin gelişmesine paralel olarak gelecekte de artarak devam edeceği varsayılmaktadır [31].

Lojistik fonksiyonunun işletme yönetiminde önem kazanmasının nedenleri şöyle sıralanabilir [32]:

- 1) Taşıma uzaklıklarının ve maliyetlerin artış göstermesi
- 2) Üretim teknolojilerinin pek çok alanda zirveye ulaşması nedeni ile yöneticilerin maliyet düşürmek için lojistik alanını tercih etmeleri.
- 3) Stok yönetiminde tam zamanında tedarik (JIT), malzeme ihtiyaç planlaması (MRP), KANBAN vb. sistemlerin yaygın biçimde kullanılması.
- 4) Ürün çeşitlerinin gelişen tüketici taleplerinin karşılanması zorunluluğu ile hızla artış göstermesi,
- 5) Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve bilgi sistemlerinin gelişim göstermesi,
- 6) Çevreyi koruma bilinci ile kullanılmış malzemelerin ya da atıkların yeniden kullanılmak üzere (recycling) işlem görmesi,
- 7) Uluslar arası üretim ve satış firmalarının artış göstermesi.

Bir işletmenin lojistik ağında malzeme akış, tedarik kaynaklarından başlamaktadır. Dış ve iç tedarik kaynaklarından gönderilen hammadde ve yarı mamullerin bir kısmı aradaki dağıtım merkezlerinde ya da depolarda beklemektedir, bir kısmı JIT ve MRP sistemlerinde olduğu gibi doğrudan imalat prosesine dahil olmaktadır. Buraya kadar olan akış içe yönelim (Inbound) lojistik olarak tanımlanmaktadır [32]. İşletme içerisindeki üretim departmanları ya da iş istasyonları arasındaki kapasite farkları ve zamanlama hataları nedeniyle yarı mamul (WIP) stokları oluşmaktadır. İmalat sonunda mamuller doğrudan ya da belirli bir süre stokta bekletildikten sonra araçlara ya da doğrudan tüketiciye gönderilmektedir. Dışa yönelik (Outbound) lojistik olarak tanımlanan bu grup faaliyetlerde birçok taşıma, yükleme-boşaltma ve stoklama faaliyetleri mevcuttur. Global çapta bir lojistik sistemde araçlar, taşıma uzaklıkları ve bekleme süreleri dikkate alındığında, lojistik maliyetlerin GSMH' nin % 10 ' unu aştığı gerçeği daha kolay anlaşılmaktadır [32].

Coyle vd.'ne göre [33] Yedi D (Yedi Doğru) tanımı lojistiği; doğru ürünün, doğru miktarda, doğru biçimde, doğru koşullarda, doğru zamanda, doğru yerde, doğru maliyetle, doğru tüketiciye ulaşması demektir. Bu tanımda lojistiğin temel aktiviteleri vurgulamanın yanında, aynı zamanda yer ve zaman boyutunun vurgulanması bakımından önem arz etmektedir.

3.1 Lojistiğin Tarihçesi

1950'li yıllara kadar dünya genelinde işletmeler lojistik kavramını bilmemekte ve lojistik faaliyetlerini ayrı bölümlerde ve farklı disiplinler dahilinde sürdürmekteydi. Bu yöntem nedeniyle bölümlerin hedefleri birbirleriyle çatışmaktaydı ve ortak hareket güçleşmekteydi [33].

Coyle ve Bardi'ye göre [33] 1950 – 1960 yılları arasında, dağıtım sistemleri plansız ve düzensizdi. Üreticiler üretir, perakendeciler satar ve bir şekilde mallar işletmelere ulaşırdı. Dağıtım, genel olarak nakliyeciler ve üreticilerin kendi taşıma araçları ile gerçekleştirilmekteydi. 1950 yıllarında yayınlarda ilk kez fiziksel dağıtım, malzeme yönetimi, tedarik yönetimi ve dağıtım yönetimi gibi terimsel ifadeler referans olarak gösterilmeye başlandı.

Handfield ve Nicholas'a göre [33] 1960 – 1970 yılları arasında firmalar, müşteri sadakati oluşturmak için pazarlama stratejileri geliştirmeye önem vermeye başladılar. İş

lojistiği kavramının gündeme gelmesi 1960'lı yıllara denk gelmektedir. Ross'a göre [33] bu değişimi kitle üretiminden, yüksek çeşitli ve küçük boyutlu üretime yöneliştir ateşlemiştir.

1980 – 1990 yılları arasındaki dönemde lojistik kavramı kullanılmaya başlanmıştır. Bir sonraki aşamada ise Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) kavramı gündeme gelmiştir. Bu geçişin arkasındaki ana etkenin 1980'lerin ardından bilgi sistemleri ve iletişim teknolojisinde yaşanan gelişmeler olduğu düşünülmektedir. 1981 yılında ABD'de telekomünikasyon sektöründe yaşanan deregülasyondan sonra bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bowersox' a göre [33] nakliye sektöründeki deregülasyon ile birlikte, fiyatlardaki esneklik gündeme gelmiştir ve taşıma şirketlerinin faaliyetlerinde önemli ölçüde artış gözlenmiştir. Kurumlar arası bilgi ağlarının ve EDI (Electronic Data Interchange/Elektronik Veri Değişimi)'nin gelişmesiyle birlikte TZY'e geçiş sürecinde hızlanma başlamıştır [33].

3.2 Üretim Lojistiği

Çancı ve Erdal'a göre [33] dâhili işlemler, işletme içi alış faaliyetlerinin yönetimini içermektedirler. Mal kabul ambarında bulunan malzemelerin imalat ortamındaki iş istasyonlarına taşınması ve bölümler arasında hareketin sağlanarak tamamlanmış ürün haline dönüştürülmesiyle birlikte çıkış ambarına sevki bu aşamadaki temel prosesleri içermektedir.

Üretim sistemleri, zamanında teslim, optimum teslim süresi ve yüksek kalite ile müşteri memnuniyetini sağlamak zorundadır. İyi organize edilmiş üretim lojistiği, malzeme yönetimini optimize eder, envanter maliyetlerini düşürür ve verimliliği artırır. Üretim lojistiğinin hedefi, üretim sürecini azaltabilecek ve yeni ürünlerin piyasa daha çok sürülmesini sağlayacak esnek üretim ortamını sağlamaktır. Üretim lojistiği, firmanın bütün lojistik aktivitelerinin bulunduğu noktadadır. Bu nedenle, örneğin sadece taşıma işlerini yöneten grubun bile üretim felsefesine sahip olması gerekmektedir [33].

Wu vd.'ne göre [33] Lehigh Üniversitesi'nin yapmış olduğu bir araştırma sonucunda üretimin her sürecinde arz halkasının dinamiklerinin düşünülmesi gerektiği ve özellikle açık artırma ve ihale gibi rekabet içeren ortamlarda istenilen zamanda performans ve etkin kaynak kullanımının başarıya ulaşması ancak dağıtılmış bölgesel karar süreçleri ile mümkün olacağı sonucunda ulaşılmıştır. Detaylı planlama kararı, müşterilerini ve

tedarikçilerini yakından tanıyan yerel üretim noktalarına bırakılmalıdır. Ancak, bunlar arasında da başarılı bir lojistik köprüsünün kurulması gereklidir. Üretim lojistiğinde başarıya götüren faktörler; operasyon, bilgi akışı, insan kaynakları ve teknik donanımdır [33].

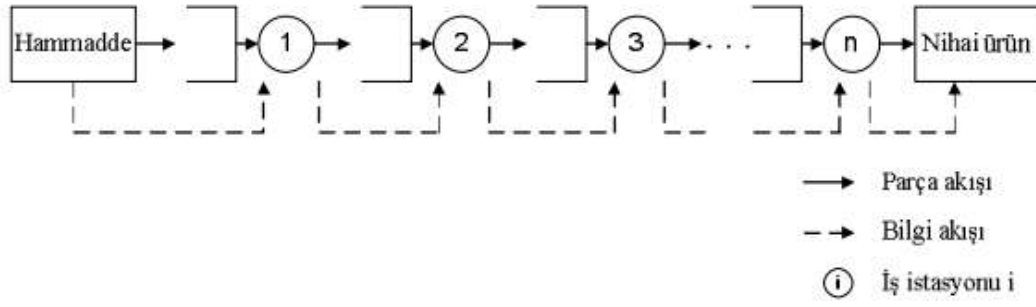
Kaya vd.'ne göre [33] üretim lojistiği, üretim aktivitelerinden biri olan planlama ve koordinasyon hizmet fonksiyonlarının tamamıdır. Modern proseslerde; planlamayı, satın almayı, üretimi, pazarlamayı, satışları, arz zincirinin yönetimini ve de üretim lojistiğini en çok etkileyen etken bilgi ve iletişim sistemlerinin olacağı öngörülmektedir. Üretimde kullanılan MRPI ve MRPII'nin şimdi ERP tabanlı yazılımla desteklenmesi ve bunların I2, Magnustic vb. nakliye ve dağıtım yazılımları ile de güçlendirilmesi ihtiyacı vardır. Böylece, zinciri tamamiyle saran iletişim ağları ile bilgiler ve iş süreçleri ortak bir noktada ve sistemde bir araya getirilebileceklerdir. Üretim lojistiğinin, üretim öncesi ve sonrası dağıtım kanalları ile uyum içerisinde olması gerekmektedir. Ürünlerin ve süreçlerin dağıtım ağı dahilindeki yapılarının ve döngülerinin başarılı bir şekilde kurulmuş olması önem arz etmektedir [33].

3.3 Üretim Kontrol Sistemleri

Kimura ve Terada'ya göre üretim kontrol sistemleri, çekme sistemleri (Kanban vb.) ve itme sistemleri (Malzeme İhtiyaç Planlaması vb.) olmak üzere iki temel grupta sınıflandırılabilir. İtme sistemlerinde parçalar üretilmekte ve sıradaki istasyona veya depolama alanına taşınmaktadır. Çekme sistemlerinde ise, sıradaki proseslerin öncesindeki proseslerden ihtiyaç duyduğu miktarda ve zamanda talepte bulundukları ve çektikleri sistemlerdir [33].

3.3.1 İtme Sistemi

Yarı mamül envanterinin mümkün olduğu sıralı üretim sistemlerinde, bir istasyonda işlem gören yarı mamül, sıradaki istasyona taşınmaktadır [34].



Şekil 3.1 Yayın sayılarının yıllara göre dağılımı [34]

Acar'a göre itme sistemlerinde üretim süreçleri, sıradaki sürecin taleplerini karşılayacak şekilde üretim yapmaktadırlar. Bununla birlikte üretim süreçlerinden herhangi birinde meydana gelen bir aksamadan ya da talep dalgalanmalarından kaynaklanan etkilere anlık müdahalelerle uyum sağlamak kolay değildir [33].

3.3.2 Çekme Sistemi

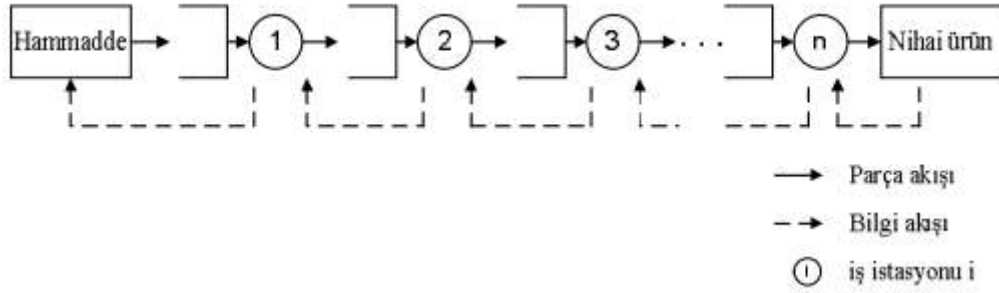
Çekme sistemlerinin itme sistemlerinden farkı, çekme sistemlerinde ürünün bir önceki istasyondan bir sonrakine, ilgili istasyonun talebi olduğu zaman çekilmektedir. Bir iş istasyonu ürünü sıradaki istasyona, söz konusu istasyonun ilgili ürünü işleme alabilecek seviyede olması koşuluyla gönderebilmekte ve kendinden önceki iş istasyonundan yeni ürün talebinde bulunabilmektedir [34].

3.3.2.1 Kanban Sistemi

Kanban, iki üretim süreci arasında iletişimin sağlanması amacıyla kullanılan kartlara verilen isimdir. Kanban sistemi, çekme sistemi dahilindeki üretim süreçlerinin zamanlamasını kontrol eden bir çekme sistemidir [34].

Karaoğlu'na göre kanban çekme politikası kapsamında, literatürde iki farklı yaklaşım mevcuttur. Bunlardan ilki sabit çekme çevrimi-değişken sipariş miktarı yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda, kanban noktasında bir araya gelen kanban sayısına bakılmaksızın statik zaman periyotlarında kanban çekimi gerçekleşmektedir [33]. Diğer yaklaşım ise değişken çekme çevrimi-sabit sipariş miktarı yaklaşımı olarak adlandırılmaktadır. Bu yaklaşım kapsamında ise kanban çekim işlemleri arasındaki zaman dinamik, kanban sayısı ise statiktir [33].

Şekil 3.2'de bir kanban sisteminde malzeme ve bilgi akışı ifade edilmektedir.

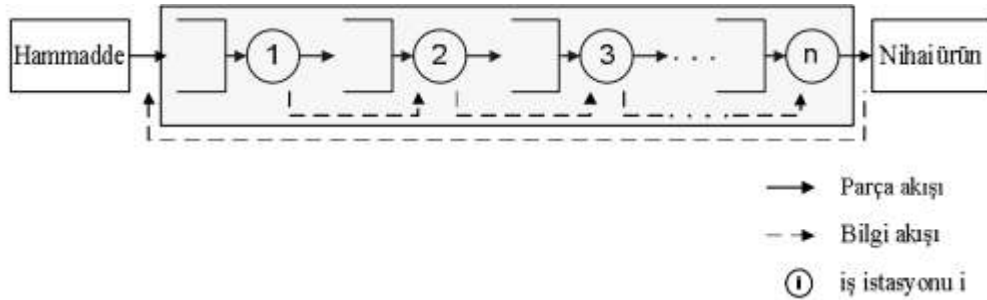


Şekil 3.2 Kanban sisteminde malzeme ve bilgi akışı [34]

3.3.2.2 CONWIP Sistemi

Spearman tarafından kanban sistemine alternatif olarak geliştirilen CONWIP sisteminde de bir üretim sisteminin envante düzeyini sınırlandırmak amacıyla kartlar kullanılmaktadır. Kanban sisteminden farkı ise kartların yalnızca ilk iş istasyonundaki malzemelere yerleştirilmeleridir [34].

Şekil 3.3’de bir CONWIP sistemi içerisindeki malzeme ve bilgi akışı ifade edilmektedir.

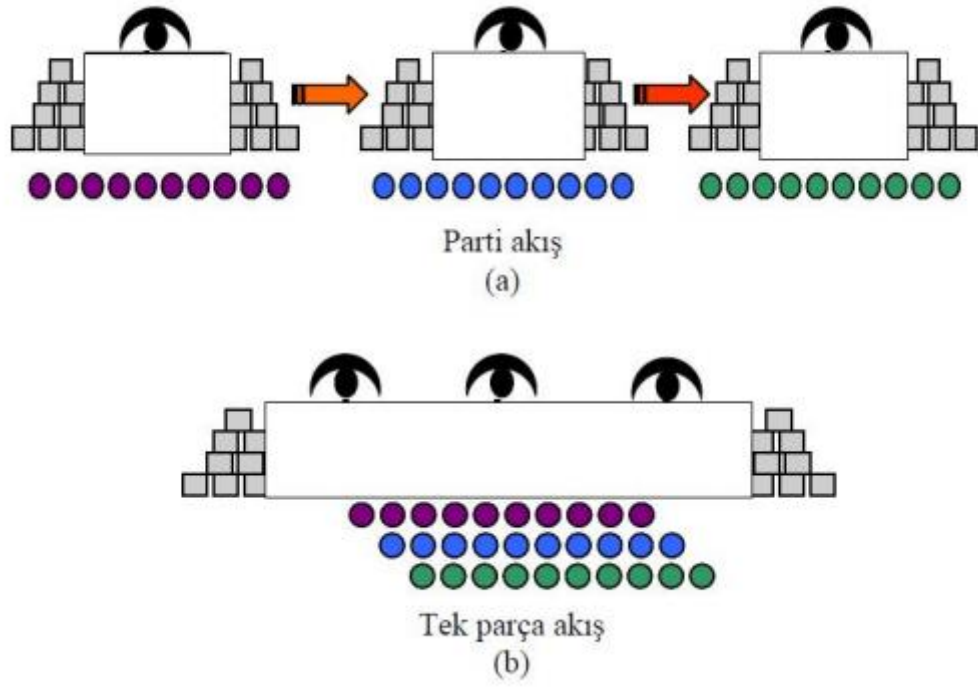


Şekil 3.3 CONWIP sisteminde malzeme ve bilgi akışı [34]

3.3.2.3 Tek Parça Akış Sistemi

Tek parça akış sisteminde; prosesler arasındaki taşınan malzeme parti büyüklüğünün bir adete düşürülmesi ile bekleyen prosesler arası envanter seviyesinin sıfıra düşürülmesi hedeflenmektedir [34].

Şekil 3.4’de bir tek parça akış sistemi içerisindeki malzeme ve bilgi akışı ifade edilmektedir.

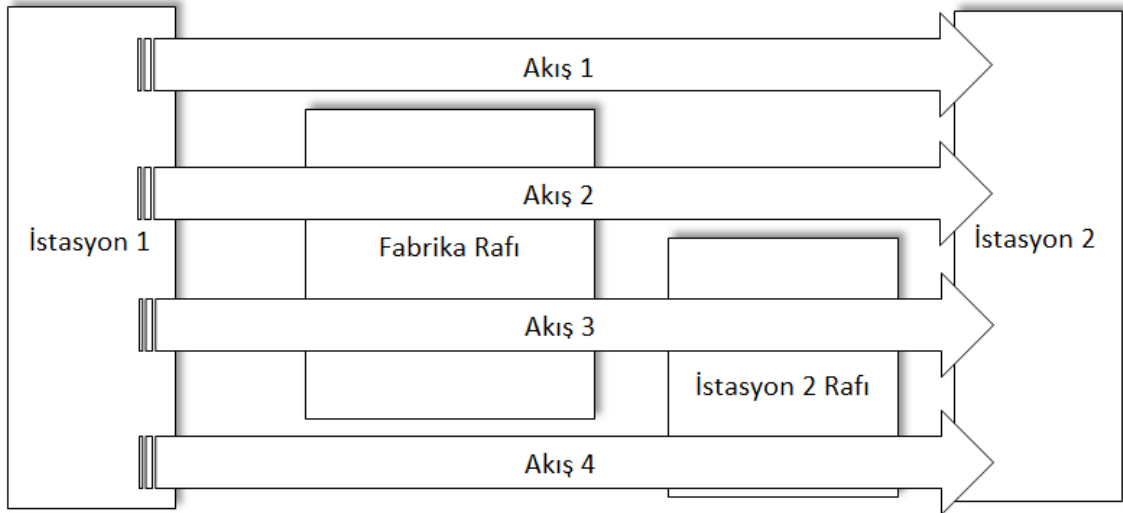


Şekil 3.4 Tek parça akış sisteminde malzeme ve bilgi akışı [34]

BEYAZ EŞYA ÜRETİMİ YAPAN BİR İŞLETMEDE ÜRETİM LOJİSTİĞİ SÜRECİ İYİLEŞTİRME UYGULAMASI

Bu çalışmada, beyaz eşya üretimi yapan bir işletmede buzdolabına ait iç plastik kaplama yüzü üretimine ait operasyonel süreçlerin bir bölümü ele alınmıştır. Süreç, İstasyon 1’de başlamaktadır ve İstasyon 2’de sonlanmaktadır. Ürünler, bu iki istasyon arasında sırayla işlem görmektedir ve dört farklı malzeme akışı ile taşınmaktadır.

- Akış 1: İstasyon 1 → İstasyon 2
- Akış 2: İstasyon 1 → Fabrika Rafı → İstasyon 2
- Akış 3: İstasyon 1 → Fabrika Rafı → İstasyon 2 Rafı → İstasyon 2
- Akış 4: İstasyon 1 → İstasyon 2 Rafı → İstasyon 2



Şekil 4.1 Malzeme akış şeması

Akış 1, bir tür cross-docking operasyonudur. İstasyon 1’de işlem gören ürünler, bekletilmeden ya da çok kısa bir süre cross-docking alanında bekletilerek bir sonraki operasyonun gerçekleştirildiği İstasyon 2’ye doğrudan aktarılmaktadır.

Akış 2, İstasyon 1’de işlem gören ürünlerin ilk olarak fabrika içerisindeki ortak raf sistemi olan Fabrika Rafi bölümüne aktararak burada depolandığı, ardından İstasyon 2’nin talepleri doğrultusunda İstasyon 2’ye taşınmasının gerçekleştirildiği bir operasyondur.

Akış 3, İstasyon 1’de işlem gören ürünlerin ilk olarak Fabrika Rafi bölümüne aktarıldığı ve ardından arzu edilen miktarda İstasyon 2 Rafi bölümüne aktararak istenilen miktarda İstasyon 2’ye taşınmasının gerçekleştiği operasyondur.

Akış 4, İstasyon 1’de işlem gören ürünlerin İstasyon 2’nin talebi doğrultusunda İstasyon 2 Rafi’na aktarıldığı ve ardından İstasyon 2’ye taşınmasının gerçekleştiği operasyondur.

4.1 Matematiksel Model

Parametreler:

- i : ürün çeşitleri, $i = 1, 2, \dots, n$.
- j : malzeme akışı çeşidi, $j = 1, 2, \dots, m$.
- k : taşıma aracı çeşidi, $k = 1, 2, \dots, t$.
- AD_i : i ürününe ait yıllık talep oranı,
- A_i : i ürünü için sipariş maliyeti,
- P_i : i ürününün birim (adet) maliyeti,
- p_i : 3 numaralı akış atanırsa, i ürününün Fabrika Rafi’nda bekleme süresi,
- $q_{ij} = 1$: i ürünü $j = 1, 2$ ya da 4 numaralı akışlara atanırsa; $[r_i] + 1$ i ürünü $j = 3$ numaralı akışa atanırsa, r_i Fabrika Rafi’ndaki ürünlerin birim parti boyutunun İstasyon 2 Rafi’ndaki ürünlerin birim parti boyutuna oranıdır ve $[r_i], r_i$ ’den büyük ya da eşit olan en büyük tamsayıdır,
- a, b, c : her fonksiyonel alandaki mümkün dikey kat seviyesi, a = Buffer Alanı,
 b = Fabrika Rafi ve c = İstasyon 2 Rafi
- r : envanter taşıma maliyeti oranı,

- H_{ijk} : bir birim i ürününü j akışında k aracıyla taşıma maliyeti,
 CS_{ij} : bir birim i ürününü j akışında bir yıllık elde bulundurma maliyeti,
 S_i : bir birim yük i ürününü depolamak için gerekli olan alan,
 TS : mümkün olan toplam depolama alanı,
 OQ_i : i ürününün sipariş miktarı (birim yük),
 T_i : bir birim yük i ürününün
 LL_{bf}, UL_{bf} : Buffer Alanı'nın depolama alanı için yüzey limiti,
 LL_{fr}, UL_{fr} : Fabrika Rafı'nın depolama alanı için yüzey limiti,
 LL_{ws}, UL_{ws} : İstasyon 2 Rafı'nın depolama alanı için yüzey limiti,
 v_{ij} : her ürünün her akış için aldığı ağırlık skoru değeri.

Karar değişkenleri:

- X_{ij} : 1 eğer i ürünü j akışına atanırsa; 0 aksi halde,
 Y_{ik} : 1 eğer i ürünü k aracına atanırsa; 0 aksi halde,
 $\varepsilon, \beta, \gamma$: fonksiyonel alanların mümkün olan toplam alan (TS) üzerindeki yüzde değerleri, ε = Buffer Alanı, β = Fabrika Rafı, γ = İstasyon 2 Rafı.

Model:

$$\min 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t q_{ij} H_{ijk} A D_i X_{ij} Y_{ik} \quad (4.1)$$

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (q_{ij} CS_{ij} OQ_i X_{ij} / 2) \quad (4.2)$$

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v_{ij} X_{ij} \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (4.4)$$

$$\sum_{k=1}^t Y_{ik} \geq 1 \quad \forall i \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^n (OQ_i S_i X_{i1}/2) \leq a\varepsilon TS \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=1}^n (OQ_i S_i X_{i2}/2) + \sum_{i=1}^n (p_i Q_i S_i X_{i3}/2) \leq b\beta TS \quad (4.7)$$

$$\sum_{i=1}^n ((1 - p_i) OQ_i S_i X_{i3}/2) + \sum_{i=1}^n (OQ_i S_i X_{i4}/2) \leq c\gamma TS \quad (4.8)$$

$$\varepsilon + \beta + \gamma \leq 1 \quad (4.9)$$

$$LL_{bf} \leq a\varepsilon TS \leq UL_{bf} \quad (4.10)$$

$$LL_{fr} \leq b\beta TS \leq UL_{fr} \quad (4.11)$$

$$LL_{ws} \leq c\gamma TS \leq UL_{ws} \quad (4.12)$$

$$\varepsilon, \beta, \gamma \geq 0 \quad (4.13)$$

$$X_{ij}, Y_{ik} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (4.14)$$

(4.1) numaralı amaç fonksiyonunda, yıllık ürün talebi doğrultusunda yapılacak olan taşıma maliyeti minimize edilmek istenmektedir. Mevcut modelde ürünlere ait birim parti büyüklüğü, ürünün atanmış olduğu akış türüne bağlı değildir. 1, 2 ve 4 numaralı akışlarda her alana aktarılan i ürünün parti büyüklüğü, bir sonraki alana aktarılan parti büyüklüğü ile eşdeğerdir. Bu durum, yalnızca 3 numaralı akışta değişmektedir. Akış 3'e aktarılan ürünler, Fabrika Rafi alanında bekletilmekte ve elleçleme yapılarak değişik parti boyutlarında İstasyon 2 Rafi'na taşınması gerçekleştirilmektedir. Bu durum kapsamında r_i değeri tanımlanmıştır ve Fabrika Rafi'ndaki ürünlerin birim parti boyutunun İstasyon 2 Rafi'ndaki ürünlerin birim parti boyutuna oranını ifade etmektedir ve $j = 3$ akışına atanan her birim yük ürünün $q_{ij} = [r_i] + 1$ defa taşınmasının gerçekleştirildiği ifade edilmektedir. Ele alınan modelde, Fabrika Rafi alanından İstasyon 2 Rafi'na aktarılan ürünlerin birim parti büyüklüğünün azaldığı bilinmektedir. Bununla birlikte, hangi j yoluna atandığına bakılmaksızın her i ürün iki defa malzeme taşıma işlemine maruz kalmaktadır; malzeme kabul ve malzeme gönderim.

(4.2) numaralı amaç fonksiyonunda akışlar üzerinde yapılan depolama maliyeti minimize edilmek istenmektedir. Burada OQ_i 'yi hesaplamak için ekonomik sipariş modeli (EOQ) kullanılmaktadır. Örneğin; iki başarılı döngü arasındaki zaman (replenishment time) OQ_i/AD_i ise her birim yük i ürünü için ortalama rafta bekleme süresi (dwell time) $T_i = OQ_i/(2AD_i)$ ' dir. $OQ_i/2 = AD_i T_i$ ' dir ve bu değer ikinci amaç fonksiyonu olan denklemde (2), her ilgili ürününün birim yükünün atanmış olduğu ilgili akışta elde bulundurma maliyetini en azlamak üzere kullanılmaktadır.

(4.3) numaralı amaç fonksiyonunda ise her i ürünün j akışına atanması durumunda alacağı ağırlık skorları toplamalarının maksimum değeri alması istenmektedir. v_{ij} değeri, ilgili ürünün ABC ve XYZ analizleri sonucu karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi ve ardından i ürününün j akışlarına atanmasının yolun ve ürünün bu karakteristik özelliklerine göre Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle ağırlıklandırılması sonucu elde edilmektedir. Bu aşamada yapılan işlemler, ileri bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

(4.4) numaralı kısıtta, her i ürününün j akışlarından yalnızca bir tanesine atanmasının sağlanması istenmektedir.

(4.5) numaralı kısıtta, her i ürününün en az bir k aracı tarafından taşınması koşulu sağlanmak istenmektedir.

(4.6), (4.7) ve (4.8) numaralı kısıtlarda Buffer Alanı, Fabrika Rafı ve İstasyon 2 Rafı için gerekli olan alan kısıtları sağlanmak istenmektedir.

(4.9) numaralı kısıtta, fonksiyonel alanlara (Buffer Alanı, Fabrika Rafı ve İstasyon 2 Rafı) ait yüzde değerlerinin 1'i aşmaması sağlanmak isteniyor.

(4.10), (4.11) ve (4.12) numaralı kısıtlarda fonksiyonel alanlara ait yüzey alanı değerlerinin, ilgili alana ait alt ve üst sınırlar içerisinde kalması istenmektedir.

(4.13) numaralı kısıtta fonksiyonel alanlara ait yüzey yüzde değerlerinin (α, β ve γ) negatif olmaması koşulu sağlanmak istenmektedir.

(4.14) numaralı kısıtta X_{ij} ve Y_{ik} karar değişkenlerinin, ikili (binary) değişken olması sağlanmak istenmektedir.

Mevcut modelde ürün tipleri ve miktarları, her bir ürün için yıllık talep bilgileri, her bir ürünün fiyatı ve sipariş maliyeti, taşıma maliyeti oranı gibi bilgilerin karar verici tarafından elde edilebildiği varsayılmaktadır. Depolama maliyetinin (CS_{ij}) ürünün birim yüküne ait boyutuna, yüzey alanının m^2 başına düşen kira/yapı maliyetine, j akışında kullanılan raf türüne bağlı olduğu kabul edilmektedir. Akış 3'e atanan ürünler için CS_{ij} ve H_{ijk} değerleri, birim parti boyutundaki ürünün küçük parti boyutlarına ayrılması gerçeği göz önünde bulundurularak hesaplanmalıdır. Depolama maliyeti H_{ijk} , Heragu vd. [1] tarafından geliştirilen Tamashunas vd. [1]'nin oluşturduğu taşıma maliyeti fonksiyonu referans alınarak mevcut modele göre geliştirilmiştir:

ND_k : ihtiyaç duyulan k taşıma aracı adedi,

IC_k : k aracıya ait satın alma ya da kira bedeli,

N_{ijk} : j akışında k aracıyla taşınan yıllık ortalama i ürünü adedi,

LUL_{ijk} : i ürünü için j akışında k aracı üzerinde yapılan yükleme ve boşaltma işlemleri için harcanan ortalama süre (dk),

d_{ijk} : i ürünün j akışında k aracıyla taşınırken yükleme ya da boşaltma işlemleri için kat etmiş olduğu ortalama mesafe (m),

L_{kj} : j akışında k aracının ürün ile yüklüken harcamış olduğu sürenin yüzde değeri,

SP_{kj} : j akışında k aracının ortalama hızı (m\dk),

OP_{kj} : j akışında k aracını bir dakika kontrol etmek için gerekli olan işçilik maliyeti ve diğer maliyetler.

cap_k : her k aracına ait ürün taşıma kapasitesi.

$$H_{ijk} = \frac{TC_{ijk}}{N_{ijk}} \quad \forall i, j, k \quad (4.15)$$

$$TC_{ijk} = X_{ij}Y_{ik}ND_k IC_k \frac{N_{ijk}(LUL_{ijk}/120 + (d_{ijk}/L_{kj}SP_{kj}))}{\sum_{i=1}^n N_{ijk}(LUL_{ijk}/120 + (d_{ijk}/L_{kj}SP_{kj}))} + X_{ij}Y_{ik}N_{ijk}OP_{kj} \left(LUL_{ijk}/120 + \frac{d_{ijk}}{L_{kj}SP_{kj}} \right) \quad \forall i, j, k \quad (4.16)$$

$$ND_k = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij}Y_{ik}N_{ijk}}{cap_k} \quad \forall k \quad (4.17)$$

(4.15) numaralı denklem, her brim i ürününün j yolunda k aracıyla taşınması durumunda katlanılması gereken yıllık taşıma maliyetini ifade etmektedir.

(4.16) numaralı denklem, bütün i ürünlerinin j yolunda k aracıyla taşınması durumunda elde edilen toplam maliyeti ifade etmektedir. Denklemin ilk toplamı, taşıma aracına ait brim yatırım maliyeti kalemini diğer toplamı ise operasyonel maliyet kalemini ifade etmektedir.

(4.17) numaralı denklem, k aracına kaç adet ihtiyaç duyulduğu bilgisini ifade etmektedir.

ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Çözüme kavuşturulmak istenen çok amaçlı doğrusal olmayan matematiksel modelde, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yaklaşımı ile ürün çeşitleri uygun malzeme akışlarına atanmıştır. AHP uygulaması sonucu elde edilen ağırlık skorlarının maksimize edilmesi, amaçlardan birini meydana getirmektedir. Amaçlar, bulanık mantık yaklaşımı ile çözüme kavuşturulmuştur.

5.1 Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)

Karar verme, mevcut alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun ve olası olan bir veya daha fazlasını seçme sürecidir [35], [36]. Özellikle son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar, karmaşık ve belirli olamayan bir karar ortamında karar verme zorunluluğu ile yüzleşen karar vericinin, bilgisini ve tecrübesini sistemli bir şekilde değerlendirerek, optimal bir çözüme nasıl ulaşılacağına ilişkin yaklaşımlar geliştirmiştir [35], [37]. Bu sebeple de karar vericinin yapması gereken, amaç ya da amaçlarını çözüme kavuşturacak çeşitli alternatifler arasından belirlediği kriterlere göre uygun bir değerlendirme yaparak seçim yapmaktır. Burada karar verici bir kişi veya amaçları aynı olan birden fazla kişilerin oluşturduğu bir topluluk ya da amaçları farklı kişi ya da toplulukların oluşturduğu bir grup olabilir [35], [38].

ÇKKV, karar verme yaklaşımlarının bir alt dalı olup, karar sürecini kriterlere göre modelleme ve analiz etme prosesine dayanmaktadır [35]. Karar vericinin sayılabilir sonlu ya da sayılamaz sayıda mevcut seçeneklerden oluşan bir küme içinde en az iki kriterle dayalı bir değerlendirme yaparak seçimde bulunmasını sağlar [35]. Bu nedenle de ÇKKV yöntemleri, karar verici için toplanan bilgileri başarılı analiz ederek amaç ya da amaçlarını gerçekleştirecek seçenekleri çeşitli kriterlere göre değerlendirmesine ve

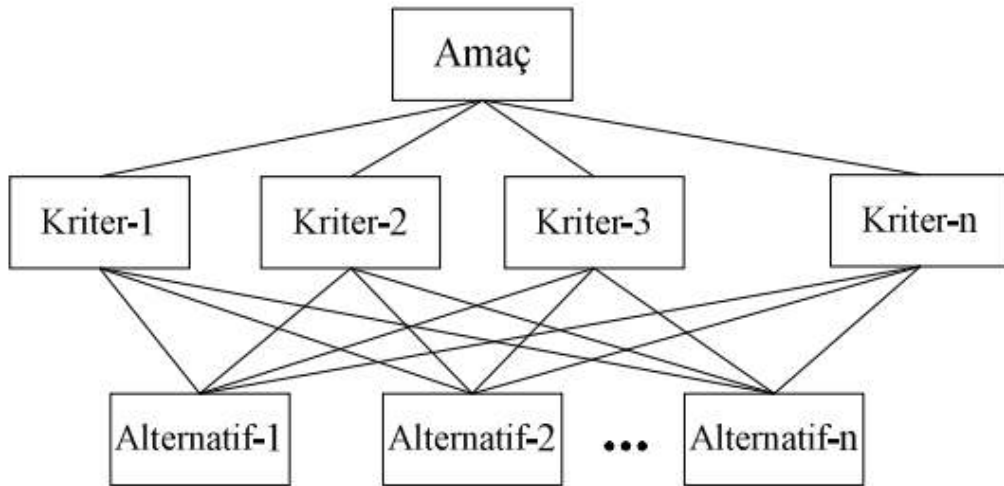
karar vericinin beklentilerini de karşılayacak optimal seçeneği belirlemesine yardımcı olmaktadır [35].

5.1.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi 1970’li yılların ortasında Pensilvanya Üniversitesi’nden Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, ölçme ve karar verme uygulamaları için kullanılan bir matematiksel teodir [39]. Ho’ya göre AHP literatürde yaygın olarak çalışılmıştır ve son 20 yılda ÇKKV ile ilgili uygulamaların neredeyse tümünde kullanılmıştır [39].

AHP yönteminin uygulama adımları şu şekildedir [39]:

1. Adım - Hiyerarşik Yapının Kurulması: Amaç ile tepeden başlanarak karar hiyerarşisi oluşturulur. Orta seviyede kriterler ve en düşük seviyede ise alternatifler yer almaktadır.



Şekil 5.1 AHP’nin hiyerarşik yapısı [39]

2. Adım - İkili Karşılaştırma Matrisleri (A) ve Üstünlüklerin Belirlenmesi: Saaty’e göre amacın, kriterlerin ve alt kriterlerin belirlenmesinin ardından kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında önem derecelerinin oluşturulması için Şekil 5.2’de gösterilen (nxn) ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur [39]. Karar verici, kriter matrisi veya alternatif matrisi için kriterleri veya alternatifler arasında ikili karşılaştırma yapmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{32} & \dots & a_{n2} \\ 1/a_{31} & 1/a_{32} & 1 & \dots & a_{n3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n}$$

Şekil 5.2 İkili karşılaştırma matrisi [39]

Çizelge 5.1 Saaty'nin AHP önem ölçeği [39]

Sayısal Değer	Tanım
1	Alternatifler eşit önem seviyesinde ya da aralarında kayıtsız kalınıyor
3	1. alternatif 2.'ye göre biraz daha önemli ya da biraz daha tercih ediliyor
5	1. alternatif 2.'ye göre fazla önemli ya da fazla tercih ediliyor.
7	1. alternatif 2.'ye göre fazla önemli ya da çok fazla tercih ediliyor.
9	1. alternatif 2.'ye göre aşırı önemli ya da aşırı derecede tercih ediliyor.
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Şekil 5.2'de yer alan her bir ölçütün, amaca katkısı açısından göreceli önemleri ve her bir hedefin de ölçütler açısından avantajları, uygulayıcıların görüşlerine göre, ikili karşılaştırma yolu ile belirlenir. Burada üstünlüklerin belirlenmesi için Saaty tarafından ortaya çıkarılan ve Tablo 5.1'de verilen önem skalası kullanılmaktadır [39].

3. Adım - Özvektörün (Görelî Önem Vektörünün) Belirlenmesi: Sipahioğlu'na göre ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasının ardından, ilgili matristeki her bir ögenin diğer öğelere göre önemini gösteren özvektörün hesaplanmasıdır [39]. Matrisin nx1 boyutunda özvektörü şu şekilde belirlenmektedir [39]:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad i=1,2,\dots, n; \quad j=1,2,\dots, n \quad (5.1)$$

Kriterlerin yüzde önem dağılımlarını belirlemek için $W = [w_i]_{n \times 1}$ formundaki sütun vektörlerinin hesaplanması gerekmektedir. W sütun vektörü, Eşitlik (5.1)'de belirtilen b_{ij} değerlerinin oluşturduğu matrisin satır elemanlarının aritmetik ortalamasından elde edilmektedir [39].

4. Adım - Özvektörün Tutarlılığının Hesaplanması: Her ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı değeri (CR) hesaplanmaktadır ve üst limitin 0,10 olması istenmektedir [39]. Oranın 0,10'un üstünde olması durumunda, karar vericinin yargılarında tutarsızlık olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda, yargıların iyileştirilmesi gerekmektedir. CR değerine ulaşmak için öncelikle A matrisinin en büyük özvektörünü ($\lambda_{\max}$) hesaplamak gerekmektedir [39].

$$D = [a_{ij}]_{n \times n} \times [w_i]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1} \quad (5.2)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i / w_i}{n} \quad i=1,2,\dots, n; j=1,2,\dots, n \quad (5.3)$$

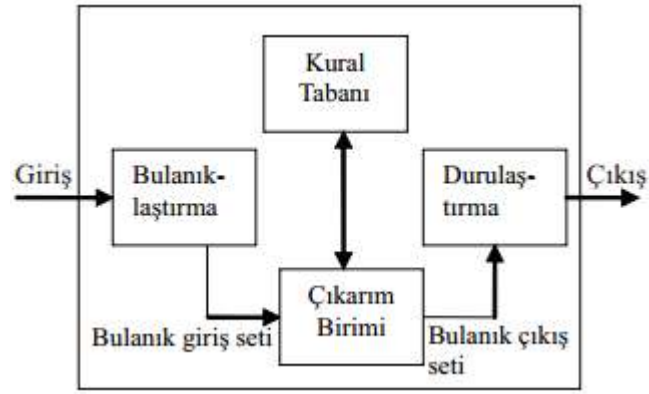
5. Adım - Hiyerarşik Yapının Genel Sonucunun Elde Edilmesi: Önceki dört aşama, hiyerarşik yapının tamamı için hesaplanmaktadır. Bu aşamada hiyerarşik yapıdaki n tane ölçütün her birinin meydana getirdiği mx1 boyutundaki üstünlük sütun vektörleri bir araya getirilerek mxn boyutundaki DW karar matrisi oluşturulmaktadır. Elde edilen matrisin ölçütleri arasındaki W üstünlük vektörü ile çarpımı sonucunda R sonuç vektörüne ulaşılmaktadır [39].

$$DW = [w_{ij}]_{m \times n} \quad i=1,2,\dots, n; j=1,2,\dots, n \quad (5.4)$$

$$R = DW \times W \quad (5.5)$$

5.2 Bulanık Sistemler

Bulanık bir süreç (fuzzy işlemi), genelde, üç ayrı birimden oluşmaktadır. Bu birimler; sırası ile bulanıklaştırıcı birim, kural işleme birimi, durulaştırıcı birim ve çıktı bilgileridir. Şekil 1'de genel bir bulanık sistem yapısı gösterilmektedir [40].



Şekil 5.3 Bulanık sistemlerin genel yapısı [40]

Klasik mantıkta sınıflandırmalar kesindir, yani bir eleman bir kümenin elemanıdır ya da değildir. Kısmi üyelik durumu mümkün değildir. Kısaca, klasik kümelerde 0 ve 1 mantığı mevcuttur. Diğer taraftan bulanık mantıkta ise, aristo mantığından farklı olarak insan mantığını taklit ederek belirsiz ve yaklaşık durumlarda işlem yapabilme kabiliyeti mevcuttur. Bulanık mantıkta bir elemanın birden fazla kümenin elemanı olması mümkündür [40].

Bir u elemanının A kümesi ile ilişkisi için klasik mantıktaki karakteristik fonksiyon yapısı: $\mu_A(u) = 1$, ise u A kümesinin elemanıdır ve $\mu_A(u) = 0$, ise u A kümesinin elemanı değildir, yani bir nesne bir gruba ya aittir ya da değildir [40], [41].

Bulanık kümelerde bir nesnenin bir grubun kısmi üyesi olabilmesi söz konusudur. Üyelik derecesi, üyelik fonksiyonu olarak tanımlanan genelleştirilmiş bir karakteristik fonksiyon aracılığıyla ifade edilmektedir: $\mu_A(u): U \rightarrow [0,1]$. U genel kümeyi, A ise U 'nun bulanık alt kümesini ifade etmektedir [40], [41].

Klasik kümelerdeki gibi bulanık kümelerde de kesişim, birleşim gibi bazı işlemler tanımlanabilmektedir. A ve B kümeleri U evrensel kümesi içinde tanımlanan iki bulanık küme olarak kabul edilsin [40];

A ve B bulanık kümelerinin eşit olabilmesi durumu için:

$$\forall u \in U: \mu_A(u) = \mu_B(u) \quad (5.6)$$

A kümesinin B kümesine ait bir alt küme olabilmesi için:

$$\forall u \in U: \mu_A(u) \leq \mu_B(u) \quad (5.7)$$

A ve B bulanık kümelerinin kesişimleri ve birleşimleri sonucu oluşan üyelik fonksiyonları:

$\forall u \in U$ için A $\cap$ B'nin $\mu_{A \cap B}(u)$ ' ya ait üyelik fonksiyonu:

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min \{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (5.8)$$

$\forall u \in U$ için A $\cup$ B'nin $\mu_{A \cup B}(u)$ ' ya ait üyelik fonksiyonu:

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max \{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (5.9)$$

$\forall u \in U$ için $\mu_{A'}(u)$ ' ya ait üyelik fonksiyonu:

$$\mu_{A'}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (5.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir [40].

5.2.1 Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Modelleri

İlk geliştirildiğinden bugüne değin klasik Doğrusal Programlama (DP) modelleri, bir amacın belirli kısıtlar altında optimum karar değişkenlerine ait sonuç değerlerini veren bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Gündelik yaşamın ise tek amaç ile yalınlaştırılabilmesinin mümkün olmaması sonucunda klasik DP yapısı korunmuş ve birden fazla amacın çözüme kavuşturulabilmesi için yeniden ele alınarak çok amaçlı doğrusal programlama modelleri geliştirilmiştir [42]. Bir karar vericinin birbiri ile çelişen birden fazla amacını hayata geçirmeye çalışması, gündelik yaşamda sıklıkla karşılaşılabilen bir durumu ifade etmektedir. Bu ve benzeri durumlarda insan ve çevre faktörlerinden kaynaklı belirsizliklerin sürece dahil olmasıyla birlikte Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme modelleri ortaya çıkmıştır. Bu modellerin kronolojik olarak sıralanışı şu şekildedir [42]:

- Zimmermann Max-Min Yaklaşımı (1978)
- Sakawa ve Nishizaki Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı (2002)
- Ling ve Cheng Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı (2009)

Mevcut matematiksel modelde problem, Sakawa ve Nishizaki Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı ile çözüme kavuşturulmuştur.

5.2.1.1 Sakawa ve Nishizaki Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı

Matematiksel modeli çözüme kavuşturmak için Sakawa ve Nishizaki Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme metodu kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasının sebebi birbirinden bağımsız ve farklı amaç fonksiyonlarının değişik hiyerarşik seviyelerdeki karar vericiler tarafından tatmin edilmek istenmesidir. Bununla birlikte, her amaç fonksiyonu farklı tatmin seviyesine sahiptir ve üst seviyedeki karar verici bu amaç doğrultusunda alt seviyedeki kararlar üzerinde etki gösterebilmektedir [42].

Üst seviyedeki karar vericinin (Z_0^k), alt seviyedeki k kadar karar verici ile ($Z_1, Z_2, \dots, Z_k$) amaçlarını eş zamanlı olarak minimize etmek istediklerini varsayarsak, çok amaçlı doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi olur [42]:

$$\min Z_0(x) = \sum_{i=1}^k c_i x_i \quad (\text{Üst Seviye Karar Verici}) \quad (5.11)$$

$$\min Z_1(x) = \sum_{i=1}^k c_1 x_1 \quad (\text{Alt Seviye 1. Karar Verici}) \quad (5.12)$$

$$\min Z_2(x) = \sum_{i=1}^k c_2 x_2 \quad (\text{Alt Seviye 2. Karar Verici}) \quad (5.13)$$

⋮

$$\min Z_k(x) = \sum_{i=1}^k c_k x_k \quad (\text{Alt Seviye } k. \text{ Karar Verici}) \quad (5.14)$$

Kısıtlar

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.15)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.16)$$

Yukarıdaki modelde amaç fonksiyonlarının hepsi maksimizasyon ya da minimizasyon olabileceği gibi bir kısmı maksimizasyon ve bir kısmı minimizasyon da olabilir. Sakawa ve Nishizaki çevresel faktörler nedeniyle amaçların belirsizlik içerebilmeleri durumu nedeniyle, her bir amacın bulanık olarak ele alınması gerektiğini savunmuşlardır [42]. Öncelikli olarak her problemin bireysel çözümleri sonucu Z_k^L (alt sınır) ve Z_k^U (üst sınır)

değerleri tespit edilmektedir. Ardından minimizasyon ve maksimizasyon türü amaç fonksiyonları için (5.17) ve/veya (5.18) numaralı denklemler kullanılarak her bir amaç için üyelik fonksiyonları $\mu_0 (Z_0(x))$, $\mu_1 (Z_1(x))$, ..., $\mu_k (Z_k(x))$ tanımlanmaktadır. Tanımlanan üyelik fonksiyonları ile (5.19) – (5.24) denklemlerinde ifade edilen bulanık çok amaçlı problem elde edilmektedir [42].

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 1, & Z_k(x) \leq Z_k^L \\ \frac{Z_k^U - Z_k(x)}{Z_k^U - Z_k^L}, & Z_k^L \leq Z_k(x) \leq Z_k^U \\ 0, & Z_k(x) \geq Z_k^U \end{cases} \quad \forall k, \text{ minimizasyon için} \quad (5.17)$$

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 1, & Z_k(x) \geq Z_k^U \\ \frac{Z_k(x) - Z_k^L}{Z_k^U - Z_k^L}, & Z_k^L \leq Z_k(x) \leq Z_k^U \\ 0, & Z_k(x) \leq Z_k^L \end{cases} \quad \forall k, \text{ maksimizasyon için} \quad (5.18)$$

$$\text{maks } \mu_0(Z_0(x)) \quad (\text{Üst Seviye Karar Verici}) \quad (5.19)$$

$$\text{maks } \mu_1(Z_1(x)) \quad (\text{Alt Seviye 1. Karar Verici}) \quad (5.20)$$

$$\text{maks } \mu_2(Z_2(x)) \quad (\text{Alt Seviye 2. Karar Verici}) \quad (5.21)$$

⋮

$$\text{maks } \mu_k(Z_k(x)) \quad (\text{Alt Seviye } k. \text{ Karar Verici}) \quad (5.22)$$

Kısıtlar

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.23)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.24)$$

Elde edilen çok amaçlı modelde tüm karar vericilerin minimum memnuniyet seviyesinin maksimum değere ulaşması istenmektedir. (5.25) eşitliği eklenerek tek amaçlı problem elde edilmektedir [42].

$$\alpha = \min\{ \mu_0(Z_0(x)), \min_{i=1, \dots, k} \mu_i(Z_i(x)) \} \quad (5.25)$$

$$\text{maks } \alpha \quad (5.26)$$

Kısıtlar

$$Z_0(x) + (Z_0^U - Z_0^L)\alpha \leq Z_0^U \quad (\text{Üst Seviye Karar Verici}) \quad (5.27)$$

$$Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha \leq Z_1^U \text{ (Alt Seviye 1. Karar Verici)} \quad (5.28)$$

$$Z_2(x) + (Z_2^U - Z_2^L)\alpha \leq Z_2^U \text{ (Alt Seviye 2. Karar Verici)} \quad (5.29)$$

⋮

$$Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha \leq Z_k^U \text{ (Alt Seviye k. Karar Verici)} \quad (5.30)$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.31)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.32)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5.33)$$

Tüm karar vericilerin minimum tatmin seviyelerini maksimize eden model (5.26) – (5.33) sonucu elde edilecek α değeri üst seviye karar vericiyi tatmin ettiği takdirde sonlandırılır. Sakawa ve Nishizaki'ye göre üst seviye karar verici, α değerinden memnun olmadığı takdirde kendisinin belirlediği δ minimum tatmin seviyesi ile yeni tatmin seviyesinin alt sınırı belirlenir [42].

$$\text{maks } \alpha \quad (5.34)$$

Kısıtlar

$$Z_0(x) \leq Z_0^U - \delta(Z_0^U - Z_0^L) \text{ (Üst Seviye Karar Verici)} \quad (5.35)$$

$$Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha \leq Z_1^U \text{ (Alt Seviye 1. Karar Verici)} \quad (5.36)$$

$$Z_2(x) + (Z_2^U - Z_2^L)\alpha \leq Z_2^U \text{ (Alt Seviye 2. Karar Verici)} \quad (5.37)$$

⋮

$$Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha \leq Z_k^U \text{ (Alt Seviye k. Karar Verici)} \quad (5.38)$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.39)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.40)$$

$$0 \leq \alpha, \delta \leq 1 \quad (5.41)$$

Yukarıdaki matematiksel model (5.34) – (5.41) sonucuna göre elde edilen üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi (δ) değerine eşit ya da bu değerden büyük çıkacaktır [42]. Bununla birlikte alt seviye karar vericinin tatmin seviyesi (α) ile üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi (δ) arasında üst seviye karardan yana bir fark meydana gelecektir. Bu durum, etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama için istenilen bir

durum değildir. Üst seviye karar verici ile tüm karar vericiler arasında dengeli bir memnuniyet seviyesine ulaşmak için (5.42) eşitliğinden yararlanılmaktadır [42].

$$\Delta = \frac{\min_{i=1,\dots,k} \mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))} \quad (5.42)$$

Elde edilen Δ değerinin üst seviye karar verici tarafından belirlenen Δ_L (alt) ve Δ_U (üst) sınırları arasında olması beklenmektedir. $\Delta > \Delta_U$ ise üst seviye karar verici minimum tatmin seviyesini ifade eden δ değerini artırarak Δ değerini günceller. Tam tersi durumda ($\Delta < \Delta_L$) ise üst seviye karar verici δ değerini azaltarak Δ değerini günceller. Bu güncellemeler sonucunda aşağıdaki iki koşulun sağlanması beklenmektedir [42];

Koşul 1: Üst seviye karar vericinin memnuniyet seviyesi, δ değerinden büyük ya da bu değere eşit ise, $\mu_0(Z_0(x)) \geq \delta$

Koşul 2: Alt seviye karar vericilerin minimum memnuniyet seviyesinin üst seviye karar vericinin memnuniyet seviyesine oranı (Δ_j), $[\Delta_L, \Delta_U]$ dahilinde ise.

Yukarıdaki koşullardan *Koşul 1* zorunlu iken, *Koşul 2* iki seviye arasındaki memnuniyet dengesinin korunması isteniyorsa kullanılmaktadır. İkinci aşamada ise, alt seviyedeki karar verici ile alt seviyedeki her bir karar vericinin memnuniyet seviyelerinin oranlanması incelenmektedir [42].

$$\Delta_j = \frac{\mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))}, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (5.43)$$

Eşitlik (5.43) ile hesaplanan alt seviyedeki herhangi bir karar vericinin memnuniyet seviyesinin oranı eğer üst seviyedeki karar vericinin ilk aşamada belirlenmiş olan Δ_U sınırını aşıyorsa, üst seviyedeki karar verici alt seviyedeki karar verici için maksimum memnuniyet seviyesi ($\bar{\delta}$) belirler ve problem şu şekilde ifade edilir [42].

$$maks \alpha \quad (5.44)$$

Kısıtlar

$$Z_0(x) \leq Z_0^U - \delta(Z_0^U - Z_0^L) \quad (\text{Üst Seviye Karar Verici}) \quad (5.45)$$

$$Z_j(x) \geq Z_j^U - \bar{\delta}(Z_j^U - Z_j^L) \quad (j \in J) \quad (5.46)$$

$$Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha \leq Z_1^U \quad (\text{Alt Seviye 1. Karar Verici}) \quad (5.47)$$

⋮

$$Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha \leq Z_k^U \quad (\text{Alt Seviye } k. \text{ Karar Verici}) \quad (5.48)$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.49)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5.50)$$

$$0 \leq \alpha, \delta, \bar{\delta} \leq 1 \quad (5.51)$$

(5.36) denkleminde belirtilen J tatmin oranı üst seviyedeki karar vericinin belirlemiş olduğu Δ_U değerinden yüksek olan alt seviye karar vericilerin kümesini göstermektedir. Sakawa ve Nishizaki (2002)'ye göre $\bar{\delta}$ değeri, üst seviye karar vericinin minimum tatmin seviyesi δ ile tatmin oranı üst sınırı Δ_U değerinin çarpılmasıyla elde edilmektedir [42].

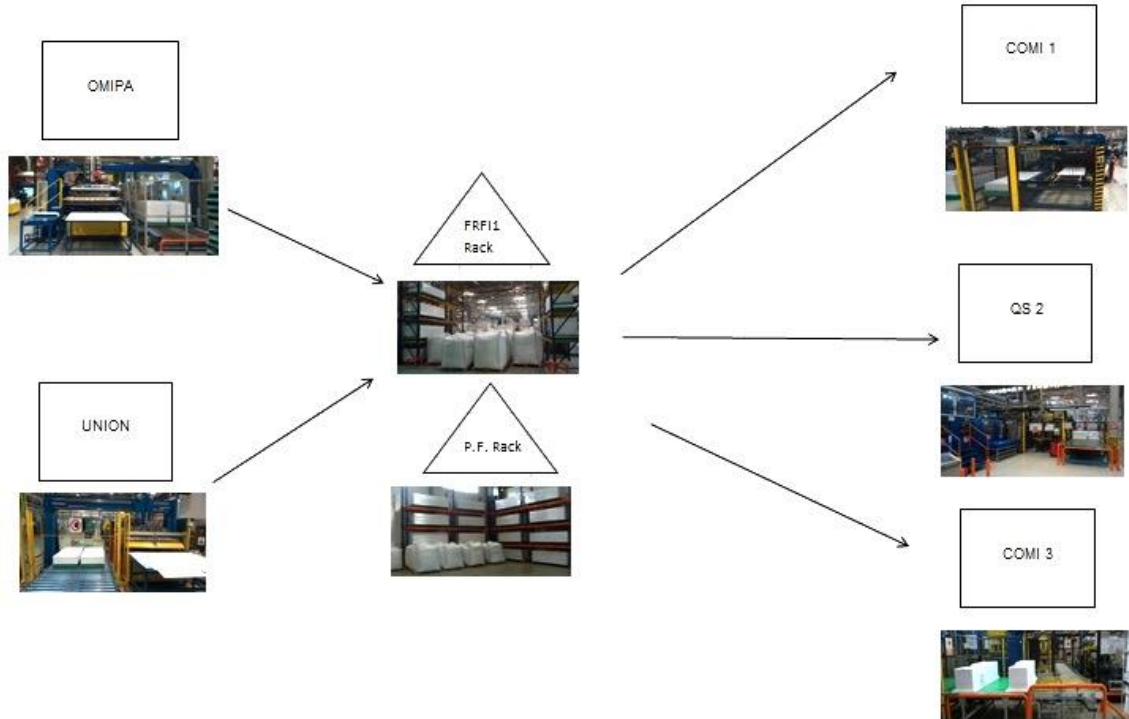
$$\bar{\delta} = \delta \times \Delta_U \quad (5.52)$$

Yeni model çözüme kavuşturulduktan sonra alt seviyedeki karar vericilerin yeni tatmin oranları (5.52) denklemi yardımıyla belirlenmektedir. Yeni tatmin oranları üst seviye karar vericinin belirlemiş olduğu Δ_L ve Δ_U değerleri arasında ise ikinci aşama da sonlandırılır. Aksi takdirde üst seviye karar verici, alt seviye karar vericilere ait tatmin oranlarının, belirlenmiş olan sınırlar arasında yer almasına kadar $\bar{\delta}$ değerini ya da değerlerini yeniden güncellemesi gerekmektedir [42].

BÖLÜM 6

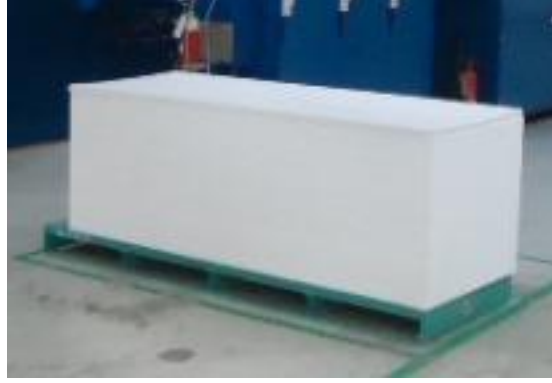
UYGULAMA

Bölüm 4’te matematiksel modeli ifade edilen süreç, İstasyon 1’de başlamaktadır. Burada gerçekleşen operasyon sonucunda, gerekli hammaddeler kullanılarak plastik levhalar elde edilmektedir. Üretilen plastik levhalar, belirli parti büyüklüklerinde paletler üzerine aktarılmaktadır. Plastik levha paletleri, fabrikanın ortak raf alanında (Fabrika Rafı) ya da bir sonraki operasyonun gerçekleşeceği durak olan İstasyon 2’ye ait küçük raflarda (İstasyon 2 Rafı) depolanmaktadır. İstasyon 2’de plastik levhalar, ısıtma işlemi görmekte ve son formuna ulaşmaktadırlar. Operasyonel süreçler arası taşımalar, üç çeşit taşıma aracı ile gerçekleştirilmektedir; transpalet, forklift ve reach truck.



Şekil 6.1 Proses akış şeması

Şekil 6.1’de proses akışlarının şematize edilmiş hali görülebilmektedir. Şekil 6.2’de İstasyon 1’e ait buffer alanına bekletilen ve palet üzerinde taşınan plastik levhalar gösterilmektedir. Şekil 6.3’de ise levhaların İstasyon 2’de işlem görmelerinin ardından oluşturdukları yapı gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Palet üzerindeki plastik levhalar



Şekil 6.3 Plastik levhaların işlem gördükten sonraki formu

Ele alınan çalışmada, on dokuz farklı ürün (plastik levha) çeşidinin mevcut dört akışa atanması ve operasyonel süreçlerin sürekliliği sağlanacak şekilde ilgili akışlar için ilgili taşıma araçlarının kullanılmasına karar verilmesi, bunun sonucu olarak ilgili araçlara duyulan ihtiyacın sayısal değerinin elde edilmesi ve akışların gerçekleştirildiği ilgili alanların (Buffer Alanı, Fabrika Rafı ve İstasyon 2 Rafı) yüzölçümü ihtiyacının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsama uygun bir matematiksel model oluşturulmuştur. Kurulan modelde, aşağıdaki verilerin bilindiği varsayılmaktadır:

- Mevcut toplam depolama alanı miktarı biliniyor.
- Bir ürünün raf üzerinde ortalama bekleme süresi (dwell time) biliniyor.
- Yıllık ürün talepleri biliniyor.
- Mevcut malzeme taşıma ekipmanları ve taşıma maliyeti üzerindeki etkileri biliniyor.
- Taşıma araçlarına ait maliyetler ve ilgili proseslerin işçilik maliyetleri biliniyor.
- Ürünleri palet içi miktarları biliniyor.
- Buffer alanı, Fabrika Rafı ve İstasyon 2 Rafı için kullanılabilecek kat seviyesi kısıtı biliniyor.

6.1 Model Verilerinin Belirlenmesi

(4.1) ve (4.2) numaralı amaç fonksiyonlarında kullanılan q_{ij} değeri, Matematiksel Model bölümünde ele alındığı üzere Fabrika Rafı'ndaki ürünlerin birim parti boyutunun İstasyon 2 Rafı'ndaki ürünlerin birim parti boyutuna oranı kullanılarak elde edilmektedir. Bu doğrultuda Fabrika Rafı'ndaki ve İstasyon 2 Rafı'ndaki ürünlerin birim parti boyutları, mevcut modelde parametre olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 6.1 i ürünlerinin t raflarındaki adet cinsinden birim parti büyüklükleri ($i=1$; Fabrika Rafı, $t=2$; İstasyon 2 Rafı)

UL_{it}	1	2		1	2
1	105	20	11	100	40
2	110	25	12	105	25
3	115	30	13	102	35
4	125	35	14	103	20
5	120	45	15	103	25
6	115	40	16	102	40
7	107	45	17	105	45
8	125	30	18	107	50
9	120	35	19	105	40
10	110	25			

(4.1) numaralı amaç fonksiyonunda kullanılan AD_i , i ürününe ait adetsel bazda yıllık talep değerini ifade etmektedir. Bu veri, firmanın bir önceki yıla ait talep değerleri elde edilerek modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6.2 Her i ürününün j akışında yıllık elde bulundurma maliyeti (TL/adet)

AD_i			
1	216072	11	26169
2	135652	12	24324
3	143113	13	26610
4	116520	14	23596
5	82610	15	22546
6	95580	16	20979
7	99249	17	15917
8	59052	18	3390
9	43110	19	4730
10	38580		

(4.2) numaralı amaç fonksiyonunda kullanılan CS_{ij} değeri, bir birim i ürününü j akışında bir yıllık elde bulundurma maliyetini ifade etmektedir ve tahmini parametre değerleri olarak modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6.3 Her i ürününün j akışında yıllık elde bulundurma maliyeti (TL/adet)

CS_{ij}	1	2	3	4
1	50,00	51,15	57,75	52,00
2	28,10	29,30	29,24	29,10
3	30,00	30,80	30,75	30,65
4	51,20	41,30	51,10	61,60
5	82,14	83,10	85,20	82,90
6	95,58	91,20	91,40	97,00
7	30,78	30,50	31,20	31,30
8	95,58	91,20	91,40	97,00
9	95,58	91,20	91,40	97,00
10	82,14	83,10	85,20	82,90
11	28,10	29,30	29,24	29,10
12	95,58	91,20	91,40	97,00
13	30,00	30,80	30,75	30,65
14	51,20	41,30	51,10	61,60
15	30,78	30,50	31,20	31,30
16	28,10	29,30	29,24	29,10
17	95,58	91,20	91,40	97,00
18	82,14	83,10	85,20	82,90
19	30,78	30,50	31,20	31,30

(4.2), (4.6), (4.7) ve (4.8) numaralı denklemlerdeki OQ_i , i ürününe ait birim sipariş parti boyutu değerini ifade etmektedir. Bu değerler, her i ürünü için firmadan temin edilmiş ve modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6.4 Her i ürününe ait birim sipariş parti boyutu (adet)

OQ_i			
1	105	11	100
2	110	12	105
3	115	13	102
4	125	14	103
5	120	15	103
6	125	16	102
7	107	17	105
8	125	18	107
9	120	19	105
10	110		

(4.3) numaralı amaç fonksiyonunda kullanılan v_{ij} değeri, her i ürünün j akışına atanması durumunda alacağı ağırlık skorlarını ifade etmektedir. v_{ij} değeri, ilgili ürünün ABC ve XYZ analizleri sonucu karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi ve ardından i ürününün j akışlarına atanmasının yolun ve ürünün bu karakteristik özelliklerine göre Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle ağırlıklandırılması sonucu elde edilmektedir. Bu aşamada yapılan işlemler, bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

(4.6), (4.7) ve (4.8) numaralı kısıtlarda kullanılan S_i değeri, her i ürünü için ihtiyaç duyulan yüzey alanını m^2 cinsinden ifade etmektedir. Ürünlere ait yüzey alanı değerleri, teknik resimlerinden faydalanılarak elde edilmiştir ve modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6.5 Her i ürününün kapladığı yüzey alanı (m^2 /adet)

S_i			
1	1,56	11	1,65
2	1,79	12	1,85
3	1,79	13	1,78
4	1,86	14	1,62
5	1,57	15	1,68
6	1,75	16	1,26
7	1,57	17	1,37
8	1,50	18	1,92
9	1,44	19	1,79
10	1,33		

(4.7) ve (4.8) denklemlerinde kullanılan p_i , her i ürününün $j = 3$ akışına atanması durumunda akış üzerinde harcadığı sürenin yüzde kaçını Fabrika Rafı'nda bekleyerek geçirdiğini ifade etmektedir.

Çizelge 6.6 Her k araca ait yıllık satın alma ya da kira bedeli (adet/yıl)

p_i			
1	0,3	11	0,6
2	0,3	12	0,6
3	0,3	13	0,6
4	0,3	14	0,2
5	0,4	15	0,9
6	0,3	16	0,7
7	0,8	17	0,9
8	0,3	18	0,9
9	0,5	19	0,7
10	0,6		

(4.6) – (4.12) arasındaki denklemlerde kullanılan a , b ve c değerleri sırasıyla Buffer Alanı, Fabrika Rafı ve İstasyon 2 Rafı alanlarına ait kullanılabilecek maksimum kat seviyesi değerlerini ifade etmektedir. Buffer Alanı, herhangi bir raf sistemi ile kontrol edilmemektedir ve bu nedenle a değeri 1 kabul edilmektedir. Fabrika Rafı alanında, en fazla altı kattan oluşan bir raf sistemine izin verildiği için b değeri 6 olarak kabul edilmektedir. İstasyon 2 Rafı alanı ise üç katlık bir raf sisteminden oluşmaktadır ve c değeri 3 olarak kabul edilmektedir. Bu denklemlerde kullanılan ve toplam yüzey alanını ifade eden TS değeri ise 23000 m² olarak kabul edilmektedir.

(4.10) – (4.12) arasındaki denklemlerde kullanılan LL_{bf} , UL_{bf} ; LL_{fr} , UL_{fr} ve LL_{ws} , UL_{ws} değerleri sırasıyla Buffer Alanı, Fabrika Rafı ve İstasyon 2 Rafı alanlarına ait kullanılabilecek yüzey alanlarının alt ve üst limitlerini ifade etmektedir. Alt limitleri ifade eden LL_{bf} , LL_{fr} ve LL_{ws} değerleri 0 kabul edilirken, üst limitleri ifade eden UL_{bf} değeri 2000 m², UL_{fr} değeri 16000 m² ve UL_{ws} ise 2000 m² kabul edilmektedir.

(4.15) denklemindeki IC_k , her k araca ait yıllık satın alma ya da kira bedelini ifade etmektedir. Bu değerler, internet üzerinde yapılan pazar araştırması sonucunda elde edilmiştir ve ortalama değer modele dahil edilmiştir. Maliyet değerleri, beş yıllık bir periyot için beşe bölünmüştür ve yıl başına düşen maliyet değeri kullanılmıştır.

Çizelge 6.7 Her k aracına ait yıllık satın alma ya da kira bedeli (adet/yıl)

IC_k	
1	122
2	8100
3	16200

(4.15) ve (4.16) denklemlerindeki N_{ijk} , j akışında k aracıyla taşınan yıllık ortalama i ürünü adedini ifade etmektedir ve tahmini değerler olarak modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6.8 Her j akışında k aracıyla taşınan yıllık ortalama i ürünü adedi (adet/yıl)

N_{ijk}	1	2	3	N_{ijk}	1	2	3	N_{ijk}	1	2	3
1.1	17500	19500	18000	7.3	8310	8150	8130	14.1	1965	1970	1950
1.2	16500	20500	19500	7.4	8280	8310	8245	14.2	1966	1967	1963
1.3	19000	20000	19000	8.1	5000	4900	4850	14.3	1965	1962	1960
1.4	19500	21000	17000	8.2	4925	4890	4925	14.4	1962	1963	1960
2.1	10500	11000	12000	8.3	5100	4875	4930	15.1	1878	1879	1890
2.2	11300	11500	12000	8.4	5000	4900	4850	15.2	1885	1882	1883
2.3	10500	10200	10750	9.1	3592	3593	3600	15.3	1882	1883	1887
2.4	11500	10800	10300	9.2	3488	3588	3650	15.4	1883	1886	1887
3.1	11500	12500	12000	9.3	3498	3600	3595	16.1	1748	1749	1750
3.2	11750	11800	12000	9.4	3510	4000	4350	16.2	1751	1760	1735
3.3	12500	10500	11800	10.1	3220	3225	3213	16.3	1745	1752	1748
3.4	11700	11500	12000	10.2	3213	3220	3225	16.4	1752	1745	1755
4.1	9500	8400	9000	10.3	3300	3250	3210	17.1	1326	1325	1327
4.2	9700	10200	8720	10.4	3150	3200	3210	17.2	1325	1322	1329
4.3	10000	9350	9000	11.1	2180	2175	2165	17.3	1320	1330	1321
4.4	9850	10350	9400	11.2	2200	1950	2100	17.4	1330	1335	1322
5.1	6750	6850	6900	11.3	2500	2040	2200	18.1	282	283	285
5.2	7000	6900	7300	11.4	2150	2130	2300	18.2	280	260	275
5.3	6950	6750	6800	12.1	2023	2030	2025	18.3	250	290	285
5.4	7100	6800	6920	12.2	2035	2050	2027	18.4	275	282	286
6.1	7970	7950	8000	12.3	2025	2035	2045	19.1	394	395	400
6.2	7965	7970	7950	12.4	2028	2030	2035	19.2	397	392	390
6.3	7970	7950	8000	13.1	2220	2222	2230	19.3	400	315	410
6.4	7985	7850	7700	13.2	2217	2218	2210	19.4	395	397	385
7.1	8300	8275	8700	13.3	2250	2210	2200				
7.2	8230	8320	8240	13.4	2230	2200	2222				

(4.16) denkleminde i ürünü için j akışında k aracı üzerinde yapılan yükleme ve boşaltma işlemleri için harcanan ortalama süreleri dakika cinsinden ifade eden LUL_{ijk} değerleri tahmini veriler olarak modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6. 9 Her i ürünü için j akışında k aracı ile yapılan yükleme ve boşaltma süreleri (dk.)

LUL_{ijk}	1	2	3	LUL_{ijk}	1	2	3	LUL_{ijk}	1	2	3
1.1	25	10	15	7.2	7	12	18	13.3	5	14	16
1.2	7	12	18	7.3	8	13	16	13.4	7	12	11
1.3	8	14	16	7.4	6	13	10	14.1	27	12	10
1.4	6	13	14	8.1	25	14	12	14.2	8	13	15
2.1	25	15	18	8.2	7	15	15	14.3	6	13	14
2.2	7	12	15	8.3	8	15	19	14.4	5	14	16
2.3	8	13	14	8.4	9	14	12	15.1	27	14	12
2.4	6	12	17	9.1	15	14	15	15.2	8	15	15
3.1	25	13	16	9.2	7	12	13	15.3	8	14	13
3.2	7	12	13	9.3	8	12	14	15.4	8	15	12
3.3	8	13	15	9.4	6	11	10	16.1	26	14	11
3.4	6	14	15	10.1	26	13	13	16.2	5	12	15
4.1	25	15	15	10.2	5	14	15	16.3	7	12	14
4.2	7	14	13	10.3	8	15	15	16.4	8	11	10
4.3	8	17	15	10.4	7	14	12	17.1	27	13	12
4.4	6	6	12	11.1	27	12	10	17.2	8	14	18
5.1	25	15	10	11.2	5	11	13	17.3	6	15	18
5.2	7	15	16	11.3	6	12	12	17.4	6	15	13
5.3	8	14	15	11.4	8	13	15	18.1	25	13	12
5.4	6	14	13	12.1	25	12	10	18.2	5	12	15
6.1	25	13	10	12.2	7	11	13	18.3	7	14	14
6.2	7	12	15	12.3	8	14	15	18.4	7	13	11
6.3	8	12	14	12.4	6	15	17	19.1	28	12	10
6.4	6	14	17	13.1	27	15	15	19.2	6	11	13
7.1	25	13	15	13.2	5	16	18	19.3	6	13	14
								19.4	5	12	10

(4.16) denklemindeki d_{ijk} değeri i ürünün j akışında k aracıyla taşınırken yükleme ya da boşaltma işlemleri için kat etmiş olduğu ortalama mesafenin metre cinsinden değerini ifade etmektedir ve tahmini verilerle mevcut modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6.10 Her i ürünü için j akışında k aracıyla taşınırken yükleme ya da boşaltma işlemleri için kat etmiş olduğu ortalama mesafe (m)

d_{ijk}	1	2	3		1	2	3		1	2	3
1.1	100	130	200	7.3	98	113	123	14.1	117	122	135
1.2	90	110	100	7.4	106	113	124	14.2	108	113	123
1.3	85	120	130	8.1	125	134	153	14.3	106	113	121
1.4	110	130	200	8.2	107	115	123	14.4	105	114	121
2.1	95	130	140	8.3	108	115	122	15.1	97	114	125
2.2	120	110	150	8.4	99	114	121	15.2	98	115	127
2.3	100	130	145	9.1	115	124	150	15.3	118	154	197
2.4	100	110	100	9.2	107	112	120	15.4	98	115	128
3.1	115	150	135	9.3	108	122	124	16.1	126	144	129
3.2	95	130	120	9.4	136	111	122	16.2	115	92	117
3.3	75	100	110	10.1	106	113	123	16.3	117	112	122
3.4	80	110	120	10.2	105	114	123	16.4	108	131	148
4.1	80	110	120	10.3	108	115	124	17.1	127	135	185
4.2	115	150	135	10.4	107	114	124	17.2	108	114	121
4.3	85	120	130	11.1	97	122	125	17.3	106	115	161
4.4	125	140	175	11.2	85	111	125	17.4	96	125	232
5.1	95	115	122	11.3	106	112	155	18.1	85	113	122
5.2	97	115	125	11.4	108	113	122	18.2	95	112	124
5.3	108	114	124	12.1	95	112	121	18.3	107	114	124
5.4	106	114	124	12.2	87	111	135	18.4	127	133	122
6.1	105	113	123	12.3	108	114	120	19.1	100	112	123
6.2	107	112	122	12.4	96	115	120	19.2	106	111	123
6.3	108	112	121	13.1	107	115	121	19.3	96	113	125
6.4	106	114	121	13.2	105	116	124	19.4	105	112	124
7.1	115	133	155	13.3	95	114	123				
7.2	107	112	122	13.4	107	112	122				

Aynı denklemdeki L_{kj} , j akışında k aracının yüklüken harcamış olduğu sürenin yüzde değerini ifade etmektedir ve tahmini değerler kullanılarak modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6.11 Her i ürünü için j akışında k aracıyla taşınırken yükleme ya da boşaltma işlemleri için kat etmiş olduğu ortalama mesafe (m)

L_{kj}	1	2	3	4
1	0,4	0,3	0,3	0,4
2	0,5	0,4	0,4	0,5
3	0,5	0,4	0,6	0,5

Aynı denklemdeki SP_{kj} ve OP_{kj} ise sırasıyla j akışında k aracının ortalama hız değerinin m/dk cinsinden değerini ve j akışında k aracını bir dakika kontrol etmek için

gerekli olan işçilik maliyeti ve diğer maliyetleri ifade etmektedir. OP_{kj} değerini hesaplarken $k = 1$ aracını kontrol eden bir transpalet işçisine ödenen aylık net miktarın 1500 TL, $k = 2$ aracını kontrol eden bir forklift işçisine ödenen aylık net miktarın 2000 TL ve $k = 3$ aracını kontrol eden bir reach – truck işçisine ödenen aylık net miktarın ise 2500 TL olduğu varsayılarak ve günlük ortalama çalışma süresi 8 saat olarak düşünülerek dakika başına düşen maliyete ulaşılmıştır.

Çizelge 6.12 Her j akışında k aracının ortalama hızı (m/dk)

SP_{kj}	1	2	3	4
1	15	12	11	15
2	220	200	180	220
3	250	230	220	250

Çizelge 6.13 Her j akışında k aracını kontrol etmek için gerekli olan işçilik maliyeti ve diğer maliyetler (TL/dk)

OP_{kj}	1	2	3	4
1	0,16	0,20	0,20	0,16
2	0,21	0,25	0,25	0,21
3	0,26	0,30	0,30	0,26

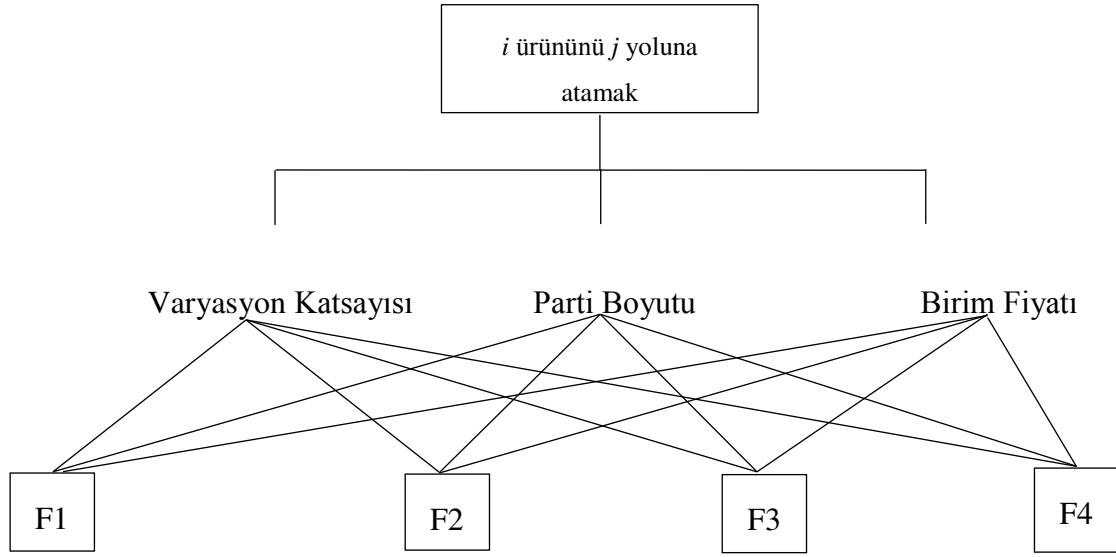
(4.17) denklemindeki cap_k , k aracının yıllık ürün taşıma kapasitesini adet cinsinden ifade etmektedir ve tahmini değerler olarak matematiksel modele dahil edilmiştir.

Çizelge 6.14 Her k aracının yıllık ürün taşıma kapasitesi (adet/yıl)

cap_k	
1	150000
2	350000
3	400000

6.1.1 Ürünlerin Akışlara Göre Ağırlık Değerlerinin (v_{ij}) Hesaplanması

Her i ürününün, karakteristik özelliklerine en uygun j akışına atanması için Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)’ne başvurulmuştur.



Şekil 6.4 AHP yapısı

Karar verme işlemi için Varyans Katsayısı, Parti Boyutu ve Birim Fiyat kriterleri belirlenmiştir. Varyasyon Katsayısı kriteri, her i ürününün yıllık talep değerlerinin varyasyon katsayısı değerini ifade etmektedir. Varyasyon katsayısının hesaplanması için şu adımlar izlenmektedir [43]:

Kareler toplamı

Varyans

Standart sapma (SD)

Varyasyon katsayısı (CV)

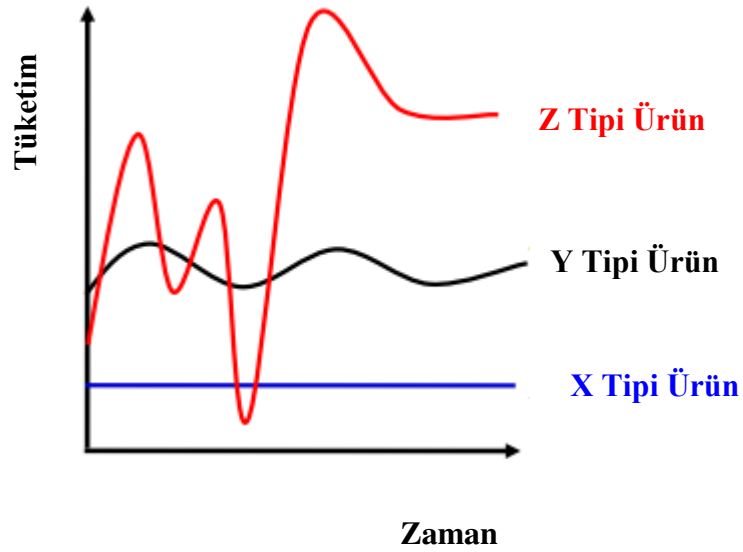
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (6.1)$$

σ Standart Sapma'yı, x_i bağımsız değişkenleri, $\bar{x}$ ortalama değeri ve N gözlem değerini ifade etmektedir.

$$CV = \sigma / \bar{x} \quad (6.2)$$

Varyasyon Katsayısı değerleri, XYZ Analizi yaparak her i ürününe ait zamana bağlı tüketimsel dalgalanmaları incelemek ve ürün karakteristiği hakkında bilgi edinmek

amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 6.2’de ürün tiplerine ait karakteristik özellikler ifade edilmektedir.



Şekil 6.5 X, Y ve Z tipi ürün karakteristikleri

X Tipi Ürünler, taleplerinin zamana bağlı dalgalanmaları sıfır ya da sıfıra yakın olan ürünlerdir. Y Tipi Ürünler, talep değerlerinde zamana bağlı olarak küçük dalgalanmaların görüldüğü ya da taleplerinin mevsimsellik gösterdiği ürünlerdir. Z Tipi Ürünler ise zamana bağlı talep değerlerinin düzensiz olduğu ürünlerdir. Yapılan XYZ Analizi’nde ürünlere ait Varyasyon Sabiti değerleri aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir:

Z Tipi Ürün için: $CV_Z \geq \%100$,

Y Tipi Ürün için: $\%50 \leq CV_Y \leq \%100$,

X Tipi Ürün için: $CV_X \leq \%50$.

Her i ürününe ait yıllık talep değerleri, haftalık periyodlarla Şekil 6.6’daki gibidir.

Material Description	2013 CW36	2013 CW37	2013 CW38	2013 CW39	2013 CW40	2013 CW41	2013 CW43	2013 CW44	2013 CW45	2013 CW46	2013 CW47
POLYST.PLATE (720*5,0*2160) KGV/E 39 NSP	3.851	3.101	6.255	5.022	5.863	5.442	4.001	1.477	2.979	2.862	3.758
POLYST.PLATE (760*4,5*2070)KGV36 NSP VPF	2.404	4.206	2.946	3.275	3.276	3.365	3.547	2.524	3.485	3.696	2.374
POLYSTYR. PLATE 4,5X840X2130 KGN57 MIL	3.910	2.160	2.280	1.440	2.250	3.767	3.720	1.710	2.872	3.960	2.758
POLYSTYRENE PLATE- 4,8*840*2130 mm KDN49	240	3.780	2.700	2.520	1.350	3.570	2.550	1.380	2.640	2.220	2.070
KGE 36 - NSP	2.467	3.125	3.308	2.827	1.416	1.746	1.925	1.563	1.173	2.976	994
POLIST.PLATE-820*4,3*2130mm-KDN40 MILIKE	3.210	780	1.860	1.800	1.560	2.010	1.860	1.230	1.620	1.980	2.280
KGV/E 58 - KDV 58 NSP	2.733	4.024	210	931	1.832	3.243	3.664	1.321	2.042	1.411	1.532
POLYST.PLATE (760*5,0*1970) KGV33 NSP	2.021	1.061	2.085	1.062	2.023	1.032	2.051	1.027	999	2.022	998
POLYST.PLATE (720*4,3*1848MM) KGN33 MILI	960	1.050	1.830	1.080	900	1.020	450	660	960	540	1.260
POLYST.PLATE (720*4,3*1995MM) KGN34 MILI	0	1.890	1.200	1.560	750	720	810	690	1.080	780	930
POLYSTYRENE PLATE 5X840X1970 KGN53 MILIK	0	990	1.260	390	360	435	780	720	822	510	603
POLYST.PLATE (820*5,0*2260) KGE49 NSP	0	1.141	1.171	1.021	1.081	0	1.051	0	991	0	0
POLYSTYRENE PLATE- 4,5*820*1980 mm KDN36	2.040	0	0	510	810	0	450	630	630	480	510
KDV 47 - NSP	2.103	60	572	120	572	992	781	541	421	751	271
KDV 43 - NSP	1.263	0	1.172	0	1.022	602	481	721	331	1	871
POLYST.PLATE (720*4,8*1750) KDV/E 29 NSP	873	152	481	601	360	602	360	390	482	330	240
POLYST.PLATE (720*4,8*1900) KDV/E 33 NSP	371	1.532	481	1	0	1.022	0	0	1.022	0	0
POLYSTYRENE PLATE 5X840X2130MM KGN56 MIL	0	510	0	0	0	0	510	0	0	0	0
POLYSTYRENE PLATE- 5,0*840*2290 mm KDN53	0	158	126	63	95	126	126	95	0	126	126

Şekil 6.6 Her *i* ürününe ait yıllık talep değerlerini gösteren ekran görüntüsü

Talep değerlerine başvurularak Varyasyon Sabiti değerleri hesaplanan her *i* ürünü, yapılan değerlendirme sonucu X, Y ve Z Tipi karakteristiklerden uygun olanı ile tanımlanır. Bir sonraki adımda, her *i* ürününün yapılan XYZ Analizi sonucunda elde ettiği karakteristiğe uygun bir *j* akışına atanmak istenmektedir. Parti Boyutu ve Birim Fiyat kriterleri ise ABC Analizi’nden elde edilen veriler doğrultusunda her *i* ürünü ve her *j* akışı için uygun karakteristiklerin belirlenmesinde kullanılmak üzere değerlendirilmektedir. ABC Analizi, her *i* ürünü için birim maliyet ve yıllık talep değerlerinden faydalanılarak Şekil 6. 4’deki gibi gerçekleştirilmiştir.

Material	Material Description	Unit Price(TL)	Annual Quantity(pc)	Quantity x Pri	Cumulative	ABC %	ABC
9000546537	POLYST.PLATE (720*5,0*2160) KGV/E 39 NSP	24,8 TL	216.072	5.354.694	5.354.694	18%	A
9000265485	POLYSTYR. PLATE 4,5X840X2130 KGN57 MIL	27,2 TL	143.113	3.888.029	9.242.723	31%	A
9000305640	POLYSTYRENE PLATE- 4,8*840*2130 mm KDN49	26,5 TL	116.520	3.085.217	12.327.939	42%	A
9000603675	KGV/E 58 - KDV 58 NSP	30,6 TL	99.249	3.036.796	15.364.735	52%	A
9000915511	POLYST.PLATE (760*4,5*2070)KGV36 NSP VPF	20,7 TL	135.652	2.811.329	18.176.064	61%	A
9000305627	POLIST.PLATE-820*4,3*2130mm-KDN40 MILIKE	24,3 TL	95.580	2.322.747	20.498.811	69%	A
9000546536	KGE 36 - NSP	22,9 TL	82.610	1.893.688	22.392.499	76%	A
9000546533	POLYST.PLATE (760*5,0*1970) KGV33 NSP	22,5 TL	59.052	1.328.095	23.720.594	80%	A
9000488201	POLYST.PLATE (720*4,3*1995MM) KGN34 MILI	20,8 TL	38.580	801.746	24.522.341	83%	B
9000179616	POLYST.PLATE (720*4,3*1848MM) KGN33 MILI	18,1 TL	43.110	779.873	25.302.213	85%	B
9000265482	POLYSTYRENE PLATE 5X840X1970 KGN53 MILIK	26,8 TL	26.169	701.170	26.003.383	88%	B
9000603674	POLYST.PLATE (820*5,0*2260) KGE49 NSP	28,7 TL	24.324	697.942	26.701.325	90%	B
9000603677	KDV 47 - NSP	29,3 TL	23.596	690.701	27.392.026	93%	B
9000733349	POLYSTYRENE PLATE- 4,5*820*1980 mm KDN36	23,9 TL	26.610	635.803	28.027.830	95%	B
9000603676	KDV 43 - NSP	25,0 TL	22.546	563.130	28.590.960	97%	C
9000546538	POLYST.PLATE (720*4,8*1750) KDV/E 29 NSP	20,9 TL	20.979	439.087	29.030.047	98%	C
9000546549	POLYST.PLATE (720*4,8*1900) KDV/E 33 NSP	21,4 TL	15.917	340.208	29.370.255	99%	C
9000390846	POLYSTYRENE PLATE- 5,0*840*2290 mm KDN53	29,7 TL	4.730	140.378	29.510.633	100%	C
9000265484	POLYSTYRENE PLATE 5X840X2130MM KGN56 MIL	27,1 TL	3.390	92.015	29.602.647	100%	C

Şekil 6.7 Her *i* ürününe ait ABC Analizi ekran görüntüsü

Yapılan ABC ve XYZ Analizleri sonrası, her *j* akışının hangi karakteristik özelliklere sahip *i* ürünü için uygun olduğunu değerlendirmek üzere Şekil 6.5’deki karşılaştırma tablosu oluşturulmuştur.

		Değer		
		A	B	C
		<i>Yüksek değerli ve küçük boyutlu</i>	<i>Orta değerli ve boyutlu</i>	<i>Düşük değerli ve büyük boyutlu</i>
Talep	X	Akış 4	Akış 2	Akış 3
	Y			
	Z	Akış1		

Şekil 6.8 Her j akışının uygun karakteristiğe sahip i ürünü için uygunluk tablosu

Akış 1'e XYZ Analizi'nde Z ve ABC Analizi'nde A, B değeri alan ürünler atanmaktadır. Bunun sebebi, ürünlerin taleplerinin belirsiz bir karakteristik sergilemeleri (Z Tipi) ve ürünlerin parti boyutlarının küçük ve orta seviyede seyretmeleri (A ve B Tipi) nedeniyle Fabrika ya da İstasyon 2 Rafları'nda yer ayrılması

sonucu boş rafların verimsiz kullanılma ihtimalinden ve raflar arası taşımalardan kaçınılmasındandır. Ayrıca yüksek üretim maliyetine sahip A ve B Tipi ürünleriyle, mümkün olduğunca az stok ile çalışarak olası yüksek depolama maliyetlerinden ve ürünlerin taşıma ve depolama sırasında olası zarar görme risklerinden kaçınmak istenilmektedir. Akış 2'ye XYZ Analizi'nde X, Y ve ABC Analizi'nde B değeri alan ürünler atanmaktadır. Bunun sebebi, tutarlılık ve mevsimsellik gösteren ürün (X ve Y Tipi) taleplerine ve orta seviyede üretim maliyeti ve parti büyüklüğüne sahip (B Tipi) ürünlerin Fabrika Rafı'nda depolanarak yeterli miktarda ürünü İstasyon 2'nin talebi doğrultusunda stokta bulundurma ihtiyacıdır. Ürünlerin İstasyon 2 Rafı'nda bulundurulmak istenmemesinin sebepleri, yüksek frekanslı talepleri nedeniyle raflar arası taşımalardan kaçınılması ve büyük parti boyutları nedeniyle İstasyon 2 Rafı'nın fiziksel alan konusunda yetersiz kalmasıdır. Akış 3'e XYZ Analizi'nde X, Y, Z ve ABC Analizi'nde C değeri alan ürünler atanmaktadır. Bunun sebebi, yüksek seviyeli parti büyüklüğüne sahip (C tipi) ürünlerin önce Fabrika Rafı'nda depolanması ve ardından İstasyon 2 Rafı'na aktarılarak yeterli miktarda ürünün İstasyon 2'ye ulaştırılmak istenmesidir. Ürünün hem Fabrika Rafı hem de İstasyon 2 Rafı'nda bulundurulmak istenmesinin sebebi, büyük parti boyutlarına sahip ürünler için yeterli fiziksel alanın sağlanması ve düşük üretim maliyetine sahip olmaları nedeniyle birim depolama maliyetlerinin göreceli olarak düşük olmasıdır. Akış 4'e XYZ Analizi'nde X, Y ve ABC Analizi'nde A değeri alan ürünler atanmaktadır. Bunun sebebi, tutarlılık ve mevsimsellik gösteren ürün taleplerine (X ve Y Tipi) ve yüksek seviyeli üretim maliyeti ve düşük seviyeli parti büyüklüğüne sahip (A Tipi) ürünlerin İstasyon 2 Rafı'nda depolanarak yeterli miktarda ürünü İstasyon 2'nin talebi doğrultusunda stokta bulundurma ihtiyacıdır. Ürünlerin yalnızca İstasyon 2 Rafı'nda bulundurulmak istenmesinin sebepleri, düşük seviyeli parti büyüklüğüne sahip olmaları nedeniyle yeterli fiziksel alanın bulunması ve yüksek frekanslı talepleri nedeniyle raflar arası taşımalardan kaçınılarak taşıma maliyetinin azaltılmak istenmesidir. Bir sonraki adımda, her i ürünü ve her j akışı için ABC ve XYZ Analizlerinden elde edilen veriler doğrultusunda ürünlerin, uygun akışlara atanması için kurulan AHP modeli için gereken adımlar atılmaktadır.

6.1.2 Ürün (i) – Akış (j) Ataması için AHP Adımlarının Gerçekleştirilmesi

Adım 1: Varyasyon Katsayısı, Parti Boyutu ve Birim Fiyatı kriterleri, ABC ve XYZ Analizleri’nden elde edilen veriler doğrultusunda 19 farklı *i* ürününe göre karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 6.15 Her *i* ürünü için AHP karşılaştırmaları

1.Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/3	7	0,29
Parti Boyutu	3	1	9	0,65
Birim Fiyatı	1/7	1/9	1	0,06
			CI/RI (n=3)	0,07
2.Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/7	1/5	0,07
Parti Boyutu	7	1	3	0,65
Birim Fiyatı	5	1/3	1	0,28
			CI/RI (n=3)	0,06
3.Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/7	1/6	0,07
Parti Boyutu	7	1	3	0,63
Birim Fiyatı	6	1/3	1	0,30
3.Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
			CI/RI (n=3)	0,09

Çizelge 6.15 Her *i* ürünü için AHP karşılaştırmaları (devamı)

4.Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/5	1/6	0,08
Parti Boyutu	5	1	2	0,55
Birim Fiyatı	6	1/2	1	0,37
			CI/RI (n=3)	0,07
5. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/3	1/3	0,14
Parti Boyutu	3	1	2	0,53
Birim Fiyatı	3	1/2	1	0,33
			CI/RI (n=3)	0,05
6. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/4	2	0,22
Parti Boyutu	4	1	3	0,62
Birim Fiyatı	1/2	1/3	1	0,16
			CI/RI (n=3)	0,09
7. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/3	1/7	0,08
Parti Boyutu	3	1	1/6	0,18

Çizelge 6.15 Her *i* ürünü için AHP karşılaştırmaları (devamı)

7. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Birim Fiyatı	7	6	1	0,74
			CI/RI (n=3)	0,09
8. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	9	5	0,73
Parti Boyutu	1/9	1	1/4	0,07
Ürün Değeri	1/5	4	1	0,20
			CI/RI (n=3)	0,06
9. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/4	2	0,22
Parti Boyutu	4	1	3	0,62
Birim Fiyatı	1/2	1/3	1	0,16
			CI/RI (n=3)	0,09
10. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/7	1/4	0,08
Parti Boyutu	7	1	3	0,66
Birim Fiyatı	4	1/3	1	0,26
			CI/RI (n=3)	0,03
11. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/8	1/5	0,07
Parti Boyutu	8	1	4	0,69
Birim Fiyatı	5	1/4	1	0,24

Çizelge 6.15 Her *i* ürünü için AHP karşılaştırmaları (devamı)

11. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
			CI/RI (n=3)	0,08
12. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	2	3	0,53
Parti Boyutu	1/2	1	3	0,33
Birim Fiyatı	1/3	1/3	1	0,14
			CI/RI (n=3)	0,05
13. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	2	5	0,57
Parti Boyutu	1/2	1	4	0,33
Birim Fiyatı	1/5	1/4	1	0,10
			CI/RI (n=3)	0,02
14. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/6	1/5	0,08
Parti Boyutu	6	1	3	0,63
Birim Fiyatı	5	1/3	1	0,29
			CI/RI (n=3)	0,08
15. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/7	2	0,15
Parti Boyutu	7	1		0,75
Birim Fiyatı	1/2	1/2	1	0,10

Çizelge 6.15 Her *i* ürünü için AHP karşılaştırmaları (devamı)

15. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
			CI/RI (n=3)	0,07
16. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	4	3	0,62
Parti Boyutu	1/4	1	2	0,22
Birim Fiyatı	1/3	1/2	1	0,16
			CI/RI (n=3)	0,09
17. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/9	1/7	0,05
Parti Boyutu	9	1	3	0,65
Birim Fiyatı	7	1/3	1	0,30
			CI/RI (n=3)	0,07
18. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/9	1/8	0,06
Parti Boyutu	9	1	2	0,58
Birim Fiyatı	8	1/2	1	0,36
			CI/RI (n=3)	0,03
19. Ürün	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı	Ağırlıklar
Varyasyon Katsayısı	1	1/6	1/5	0,08
Parti Boyutu	6	1	2	0,58
Birim Fiyatı	5	1/2	1	0,34

Adım 2: Her j akışı; Varyasyon Katsayısı, Parti Boyutu ve Birim Fiyatı kriterlerine göre karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmalar j akışının, ilgili kriterler açısından taşıdığı önem derecesine göre uzman görüşü ile puanlandırılmaktadır.

Çizelge 6.16 Varyasyon Katsayısı kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması

Varyasyon Katsayısı	F1	F2	F3	F4
F1	1	5	9	5
F2	1/5	1	3	1
F3	1/9	1/3	1	1/3
F4	1/5	1	3	1

Çizelge 6.17 Parti Boyutu kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması

Parti Boyutu	F1	F2	F3	F4
F1	1	1/3	1/7	1/5
F2	3	1	1/3	2
F3	7	3	1	3
F4	5	1/2	1/3	1

Çizelge 6.18 Birim Fiyatı kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması

Birim Fiyatı	F1	F2	F3	F4
F1	1	1/3	3	1/7
F2	3	1	4	1/2
F3	1/3	1/4	1	1/5
F4	7	2	5	1

Kriterlere göre yapılan karşılaştırmaların ardından, her bir karşılaştırma için Normalizasyon ve Tutarlılık Analizi yapılmaktadır. Aşağıda, yalnızca Varyasyon Katsayısı kriterine göre yapılan karşılaştırmaya yapılan Tutarlılık Analizi ve Normalizasyon işlemleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.19 Varyasyon Katsayısı kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması

Varyasyon Katsayısı	F1	F2	F3	F4
F1	1	5	9	5
F2	1/5	1	3	1
F3	1/9	1/3	1	1/3
F4	1/5	1	3	1

F1 sütununun Normalizasyon işlemi için aynı sütun içerisindeki ağırlıkların aritmetik ortalama değeri hesaplanmaktadır:

$$\text{Sütun Ağırlıkları Toplamı} = (1 + 1/5 + 1/9 + 1/5) = 1,51$$

Çizelge 6.20 F1 Akışı için Varyasyon Katsayısı kriterine göre normalizasyon işlemi

Varyasyon Katsayısı	F1
F1	$1/1,51 = 0,67$
F2	$(1/5)/1,51 = 0,13$
F3	$(1/9)/1,51 = 0,07$
F4	$(1/5)/1,51 = 0,13$
Toplam	1,00

Diğer sütunlardaki normalizasyon işlemleri de aynı şekilde tamamlanıyor ve Normalize Edilmiş Matris elde ediliyor. Ardından satırların ortalamaları alınarak Ağırlık değerleri elde ediliyor;

Çizelge 6.21 Varyasyon Katsayısı kriterine göre ağırlıkların elde edilmesi

Varyasyon Katsayısı	F1	F2	F3	F4	Ağırlıklar (Satır Ort.)
F1	0,67	0,67	0,56	0,67	0,64
F2	0,13	0,14	0,19	0,14	0,15
F3	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06
F4	0,13	0,14	0,19	0,14	0,15

Sonraki adımda, CI ve CR değerlerini bulmak için Ağırlık değerleri ile puanlama işleminin yapıldığı ilk matris çarpılıyor;

Çizelge 6.22 Varyasyon Katsayısı kriterine göre CR değerinin hesaplanması

Varyasyon Katsayısı	F1	F2	F3	F4		Ağırlıklar (Satır Ort.)		C
F1	1	5	9	5	X	0,64	=	2,68
F2	1/5	1	3	1		0,15		0,61
F3	1/9	1/3	1	1/3		0,06		0,23
F4	1/5	1	3	1		0,15		0,61

$$CI = \left[\frac{\left(\frac{2,68}{0,64}\right) + \left(\frac{0,61}{0,15}\right) + \left(\frac{0,23}{0,06}\right) + \left(\frac{0,61}{0,15}\right)}{4} - 4 \right] / (4 - 1) = 0,01 \quad (6.3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,01}{0,89} \cong 0,01 \leq 0,1 \quad (6.4)$$

Çizelge 6.23 RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35

Adım 3: Bir sonraki adımda her j akışı için alternatiflerin ağırlıklandırmalara bağlı sıralamaların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu işlem, her i ürünü için 19 defa gerçekleştirilmektedir. Aşağıda, yalnızca $i = 1$ ürünü ele alınmıştır.

Çizelge 6.24 $i = 1$ ürünü için alternatiflerin kriterler bazında ağırlıklı değerleri

Kriterlere Göre Alternatif Ağırlıkları	Varyasyon Katsayısı	Parti Boyutu	Birim Fiyatı
F1	0,64	0,06	0,12
F2	0,15	0,23	0,28
F3	0,06	0,52	0,07
F4	0,15	0,19	0,53

Çizelge 6.25 $i = 1$ ürünü için kriter ağırlıkları

Kriter Ağırlıkları	A ₁
Varyasyon Katsayısı	0,29
Parti Boyutu	0,65
Birim Fiyatı	0,06

Kritere Göre Alternatif Ağırlıkları Matrisi (K) ile 1. Ürün Kriter Ağırlıkları Matrisi (W) çarpılarak, alternatiflerin ağırlık değerlerinin yer aldığı L matrisi elde ediliyor;

$$\begin{bmatrix} 0,64 & 0,06 & 0,12 \\ 0,15 & 0,23 & 0,28 \\ 0,06 & 0,52 & 0,07 \\ 0,15 & 0,19 & 0,53 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,29 \\ 0,65 \\ 0,06 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,23 \\ 0,21 \\ 0,36 \\ 0,20 \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

$i = 1$ ürünü için alternatif j akışlarının sonuç ağırlık değerleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.26 $i = 1$ ürünü için alternatif j akışlarının sonuç ağırlık değerleri

Alternatifler	Ağırlık Değerleri
F1	0,23
F2	0,21
F3	0,36
F4	0,20

Aynı işlemler, farklı 19 ürün tekrarlanmaktadır. Her i ürünü için elde edilen, sonuç ağırlık değerlerini ifade eden L_i matrisleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 6.27 Her i ürünü için sonuç ağırlık değerleri

1.Ürün	Ağırlık	2.Ürün	Ağırlık	3.Ürün	Ağırlık	4.Ürün	Ağırlık
F1	0,23	F1	0,12	F1	0,12	F1	0,13
F2	0,21	F2	0,24	F2	0,24	F2	0,24
F3	0,36	F3	0,36	F3	0,35	F3	0,32
F4	0,20	F4	0,28	F4	0,29	F4	0,31
5.Ürün	Ağırlık	6.Ürün	Ağırlık	7.Ürün	Ağırlık	8.Ürün	Ağırlık
F1	0,16	F1	0,20	F1	0,15	F1	0,50
F2	0,24	F2	0,22	F2	0,26	F2	0,18
F3	0,31	F3	0,35	F3	0,15	F3	0,09
F4	0,30	F4	0,24	F4	0,44	F4	0,23
9.Ürün	Ağırlık	10.Ürün	Ağırlık	11.Ürün	Ağırlık	12.Ürün	Ağırlık
F1	0,20	F1	0,12	F1	0,12	F1	0,38
F2	0,22	F2	0,24	F2	0,24	F2	0,19
F3	0,35	F3	0,37	F3	0,38	F3	0,21
F4	0,24	F4	0,28	F4	0,27	F4	0,22
13.Ürün	Ağırlık	14.Ürün	Ağırlık	15.Ürün	Ağırlık	16.Ürün	Ağırlık
F1	0,40	F1	0,12	F1	0,15	F1	0,43
F2	0,19	F2	0,24	F2	0,22	F2	0,19
F3	0,21	F3	0,35	F3	0,41	F3	0,16
F4	0,20	F4	0,29	F4	0,22	F4	0,22
17.Ürün	Ağırlık	18.Ürün	Ağırlık	19.Ürün	Ağırlık		
F1	0,11	F1	0,12	F1	0,13		
F2	0,24	F2	0,24	F2	0,24		
F3	0,36	F3	0,33	F3	0,33		
F4	0,29	F4	0,31	F4	0,30		

Elde edilen L_i değerleri, matematiksel modelde Eşitlik (4.3)' te belirtilen amaç fonksiyonundaki v_{ij} değerlerini ifade etmektedir. Üçüncü amaç fonksiyonu, bu ağırlık değerlerini maksimize ederek her i ürününü ABC ve XYZ Analizleri' nden elde edilen veriler ışığında karakteristiğine en uygun j akışına atamayı amaçlamaktadır.

6.2 Matematiksel Modelin Sakawa ve Nishizaki Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Yaklaşımı ile Çözümlemesi

(4.1) – (4.17) arasındaki eşitliklerle ifade edilen matematiksel model GAMS paket programı kullanılarak; (4.1), (4.2) ve (4.3) amaçları için ayrı ayrı çözülmüştür ve aşağıdaki ödünleşme tablosu sonuçlarına ulaşılmıştır:

Çizelge 6.28 Modele ait ödünleşme tablosu

	Z_1	Z_2	Z_3
$\min Z_1$	627274	63017	4.58
$\min Z_2$	11458190	59608	4.07
$\max Z_3$	70412230	2462062	7.08
<i>En kötü değerler</i>	<i>70412230</i>	<i>2462062</i>	<i>4.07</i>

Çizelge 6.28’de her bir amaç için (Z_1 , Z_2 ve Z_3) en iyi değerler, köşegen üzerinde ve koyu karakter ile ifade edilmektedir. En kötü değerler ise alt satırda ve italik karakterler ile ifade edilmektedir. Amaçlara ait üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$\mu_1(Z_1) = \begin{cases} 1, & Z_1(x) \leq 627274 \\ \frac{70412230 - Z_1(x)}{70412230 - 627274}, & 627274 \leq Z_1(x) \leq 70412230 \\ 0, & Z_1(x) \geq 70412230 \end{cases} \quad (6.6)$$

$$\mu_2(Z_2) = \begin{cases} 1, & Z_2(x) \leq 59608 \\ \frac{2462062 - Z_2(x)}{2462062 - 59608}, & 59608 \leq Z_2(x) \leq 246206 \\ 0, & Z_2(x) \geq 246206 \end{cases} \quad (6.7)$$

$$\mu_3(Z_3) = \begin{cases} 1, & Z_3(x) \geq 7.08 \\ \frac{Z_3(x) - 4.07}{7.08 - 4.07}, & 4.07 \leq Z_3(x) \leq 7.08 \\ 0, & Z_3(x) \leq 4.07 \end{cases} \quad (6.8)$$

Yukarıda ifade edilen üyelik fonksiyonlarının ve α tatmin seviyesi değişkeninin modele dahil edilmesiyle bulanık çok amaçlı karar verme problemi aşağıdaki modele dönüşmektedir:

$$\text{Maks } \alpha \quad (6.9)$$

Kısıtlar

$$\alpha \leq \mu_1(Z_1) = \frac{70412230 - Z_1(x)}{70412230 - 627274} \quad (6.10)$$

$$\alpha \leq \mu_2(Z_2) = \frac{2462062 - Z_2(x)}{2462062 - 59608} \quad (6.11)$$

$$\alpha \leq \mu_3(Z_3) = \frac{Z_3(x) - 4.07}{7.08 - 4.07} \quad (6.12)$$

Eşitlik (4.1) – (4.17)

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6.13)$$

Yukarıdaki tek amaçlı problem, GAMS paket programı aracılığıyla çözülmüştür ve ortak tatmin seviyesi $\alpha = 0.94$ olarak hesaplanmıştır. Alt seviye karar vericilerin seviyeleri ise $\mu_2 = 0.95$ ve $\mu_3 = 0.95$ olarak elde edilmiştir.

Mevcut modelde, üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi karar verici tarafından $\delta = 0.98$ olarak kabul edilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre ise üst seviye karar vericinin tatmin seviyesinin 0.94 olduğu görülmektedir. Bu durumda, üst seviye karar verici memnuniyet seviyesi için alt sınır oluşturmaktadır ve bu sınırın değerini 0.98 olarak kabul etmektedir.

$$Maks \ \alpha \quad (6.14)$$

Kısıtlar

$$\delta = 0.98 \leq \mu_1(Z_1) = \frac{70412230 - Z_1(x)}{70412230 - 627274} \quad (6.15)$$

$$\alpha \leq \mu_2(Z_2) = \frac{2462062 - Z_2(x)}{2462062 - 59608} \quad (6.16)$$

$$\alpha \leq \mu_3(Z_3) = \frac{Z_3(x) - 4.07}{7.08 - 4.07} \quad (6.17)$$

Eşitlik (4.1) – (4.17)

$$0 \leq \alpha, \delta \leq 1 \quad (6.18)$$

Yeniden düzenlenen model çözüldüğünde üst seviye karar vericinin tamin değerinin $\mu_1 = 0.98$ 'e yükseldiği görülmüştür. Alt seviye karar vericilerin tatmin değerleri $\mu_2 = 0.95$ ve $\mu_3 = 0.82$ olarak elde edilmiştir. Mevcut sonuçlara göre üst seviye karar vericinin iki seviye arasındaki tatmin oranı Eşitlik (5.42) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\Delta = \frac{\min(0.95, 0.82)}{0.98} = \frac{0.82}{0.98} \cong 0.84$$

Elde edilen Δ değeri, üst seviye karar verici tarafından belirlenmiş olan alt ve üst sınırlar ($0.80 \leq 0.84 \leq 0.85$) arasında yer almaktadır. Etkileşimli bulanık programlama yönteminin ilk aşaması burada sona ermektedir. Her bir alt seviye karar vericinin tatmin denge seviyeleri Eşitlik (5.43)'e göre hesaplanarak ikinci aşamaya geçilmektedir.

$$\Delta_2 = \frac{0.95}{0.98} \cong 0.97 \quad , \quad \Delta_3 = \frac{0.82}{0.98} \cong 0.84$$

Alt seviye karar vericiler, üst seviye karar verici doğrultusunda tanımlanan farklı tatmin denge sınırı değerlerine sahiptirler. Üst seviye karar verici, depolama maliyetini ifade eden μ_2 'ye ait tatmin denge oranı aralığını [$\Delta_{L^2} = 0.95$, $\Delta_{U^2} = 1.00$], ürünlerin yollara göre ağırlık değerlerini ifade eden μ_3 'e ait tatmin denge oranı aralığını ise [$\Delta_{L^3} = 0.75$, $\Delta_{U^3} = 0.80$] olarak belirlemiştir. Δ_2 değeri, belirlenen aralık içerisinde bulunmaktadır ancak Δ_3 değeri ise tatmin denge oranı aralığı dışındadır. Bu durumda, üst seviye karar verici tarafından ürünlerin yollara göre ağırlık değerlerini ifade eden μ_3 amacı için minimum tatmin seviyesi ($\bar{\delta}$) belirlenmektedir. Bu değer, Eşitlik (5.52) aracılığıyla üst seviye karar vericinin minimum tatmin seviyesinin (δ), ilgili amacın tatmin oranı üst sınırı (Δ_{U^3}) değerlerinin çarpılmasıyla aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\bar{\delta} = \delta \times \Delta_{U^3} = 0.98 \times 0.80 \cong 0.78$$

Bu durumda matematiksel model, şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Maks \propto \tag{6.19}$$

Kısıtlar

$$\delta = 0.98 \leq \mu_1(Z_1) = \frac{70412230 - Z_1(x)}{70412230 - 627274} \tag{6.20}$$

$$\alpha \leq \mu_2(Z_2) = \frac{2462062 - Z_2(x)}{2462062 - 59608} \tag{6.21}$$

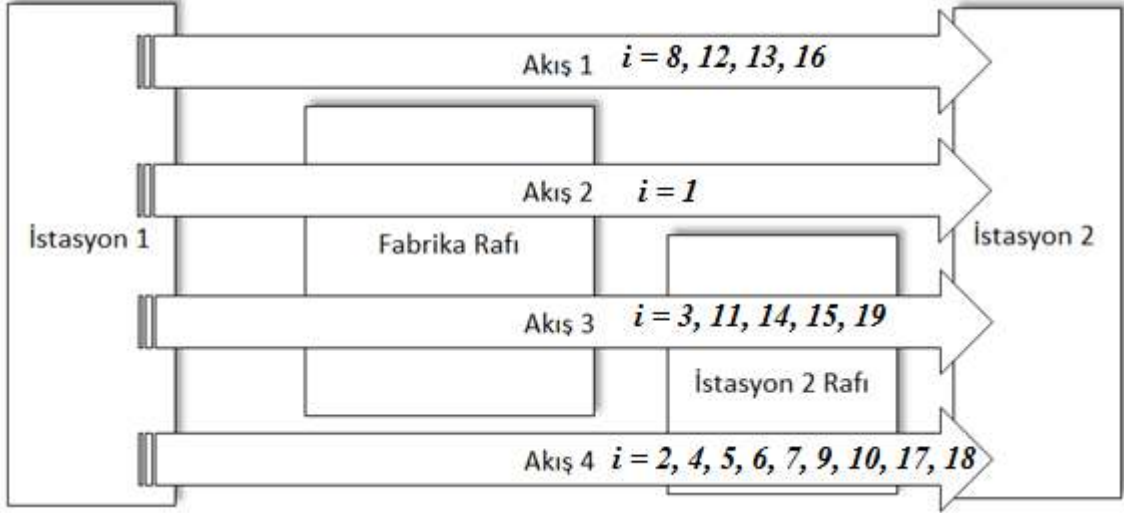
$$\bar{\delta} = 0.78 \leq \mu_3(Z_3) = \frac{Z_3(x) - 4.07}{7.08 - 4.07} \tag{6.22}$$

Eşitlik (4.1) – (4.17)

$$0 \leq \alpha, \delta, \bar{\delta} \leq 1 \tag{6.23}$$

Yeniden düzenlenen modele ait sonuç değerleri, arzu edilen çözüm arzu edilen çözüm uzayı sınırları dahilinde bulunmuştur:

$$(0.95 \leq \mu_1 = 0.99 \leq 1.00, 0.95 \leq \mu_2 = 0.98 \leq 1.00, 0.75 \leq \mu_3 = 0.78 \leq 1.00).$$



Şekil 6.9 X_{ij} karar değişkenine ait atama sonuçları

Çizelge 6.29 Y_{ik} karar değişkenine ait atama sonuçları

Y_{ik}	1	2	3
1	0	1,00	0
2	0	0	1,00
3	0	0	1,00
4	0	1,00	0
5	0	1,00	0
6	0	1,00	0
7	0	0	1,00
8	0	1,00	0
9	0	1,00	0
10	1,00	0	0
11	0	0	1,00
12	0	0	1,00
13	0	1,00	1,00
14	0	1,00	0
15	0	0	1,00
16	0	0	1,00
17	0	1,00	0
18	0	1,00	0
19	0	1,00	1,00

Çizelge 6.29’da görülmekte olan ürünlerin ilgili araçlara atanması sonuçlarına göre $k = 1$ aracına yalnızca $i = 10$ ürünü atanmıştır. $k = 1$ aracı ise Transpalet aracını temsil etmektedir. Şekil 6.9’da ise $i = 10$ ürününün $j = 4$ akışına atanmış olduğu görülmektedir.

$j = 4$ akışı, Şekil 6.8’de görüldüğü üzere küçük sipariş boyutlu ve yüksek değerli (A tipi) ürünlerin atanmasının öncelendiği akış tipidir. $i = 10$ ürününün yıllık sipariş boyutu bakımından kendisi ile birlikte $j = 4$ yoluna atanan ürünlerin neredeyse tamamından düşük seviyede olduğu Çizelge 6.2’deki AD_i parametresine bakılarak görülebilmektedir. Bununla birlikte kendisinden düşük seviyede sipariş miktarına sahip olan $j = 17$ ve 18 ürünlerinin ise yapılan ABC Analizi sonucunda C tipi ürün olduğu gözlemlenmektedir. Bu sonuçlar dahilinde, $k = 1$ taşıma aracının, düşük sipariş boyutuna sahip ve yüksek üretim maliyetine sahip ürünlerin taşımada tercih edildiği gözlemlenebilmektedir.

6.3 Sonuçların Analizi

Çizelge 6.30 Üç aşamaya ait sonuç değerleri

	1. Aşama	2. Aşama	3. Aşama
Z_1 (Min.) / TL	4817212,78	1948148,73	1625788,97
Z_2 (Min.) / TL	188469,30	171123,10	103545,23
Z_3 (Maks.)	6,93	6,54	6,43
α	0,94	0,82	0,98
μ_1	0,94	0,98	0,99
μ_2	0,95	0,95	0,98
μ_3	0,95	0,82	0,78
$ND_k, \forall k$	$k=1$: 0,003 $k=2$: 0,126 $k=3$: 0,248	$k=1$: 0,002 $k=2$: 0,176 $k=3$: 0,116	$k=1$: 0,021 $k=2$: 0,173 $k=3$: 0,102
alf	0,060	0,063	0,066
bt	0,072	0,078	0,086
gm	0,024	0,023	0,024

İlk çözümde amaçlara ait üyelik fonksiyonları serbest bırakılmıştır. Çizelge 6.29’da görüldüğü üzere ilk amaca ait maliyet değeri (Z_1) 4817212,78 TL, ikinci amaca ait maliyet değeri (Z_2) 188469,30 TL ve üçüncü amaca ait maliyet değeri (Z_3) ise 6,93 olarak elde edilmiştir. Birinci aşamanın sonunda, üyelik fonksiyonlarına ait α değeri 0,94 olarak elde edilmiştir ve her bir amaca ait μ değerleri sırasıyla; $\mu_1 = 0,94$, $\mu_2 = 0,95$ ve $\mu_3 = 0,95$ olarak elde edilmiştir. Uzman görüşüne göre birinci amaca ait (Z_1) tatmin seviyesinin en az 0,98 olması istenmektedir. Bunun sebebi, taşıma maliyetlerinin düzenlenmesi kapsamında yapılacak olan yatırımların düzenlenmek istenmesi ve uygun sayıda ve çeşitte taşıma aracının satın alınmasının sağlanmasıdır. Bu nedenle, bir sonraki aşamada μ_1 değeri 0,98 olmaya zorlanmış ve model tekrar çözümlenmiştir.

İkinci aşamada Z_1 değeri, ilk aşamaya göre yaklaşık %60 oranında azalmıştır 1948148,73 TL olarak elde edilmiştir. Z_2 değeri yaklaşık %9 oranında azalarak 171123,10 TL' ye ve Z_3 değeri ise yaklaşık % 6 oranında azalarak 6,54' e düşmüştür. Üçüncü amaca ait tatmin oranı (Δ_3) değerinin yeniden düzenlenmesiyle matematiksel model, üçüncü aşama için tekrar düzenlenerek çözümlenmiştir. Üçüncü aşama sonucunda Z_1 değeri birinci aşamaya göre % 66, ikinci aşamaya göre ise %17 oranında azalmıştır ve 1625788,97 TL olarak elde edilmiştir. Z_2 değeri, birinci aşamaya göre % 45, ikinci aşamaya göre ise % 39 oranında azalmıştır ve 103545,23 TL olarak elde edilmiştir.

Şekil 6.9, her i ürününün atanmış olduğu j yolunu ifade eden X_{ij} karar değişkenine ait atama sonuçlarını ifade etmektedir. Yalnızca $i = 1$ ürünü $j = 2$ yoluna atanmıştır. $j = 4$ yolunun, en fazla ürün atamasının yapıldığı yol olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.29, her i ürününün atanmış olduğu k taşıma aracını belirten Y_{ik} değerlerini ifade etmektedir. En fazla ürünün $k = 2$ (Forklift) aracına, en az ürünün ise $k = 1$ (Transpalet) aracına atanmış olduğu görülmektedir.

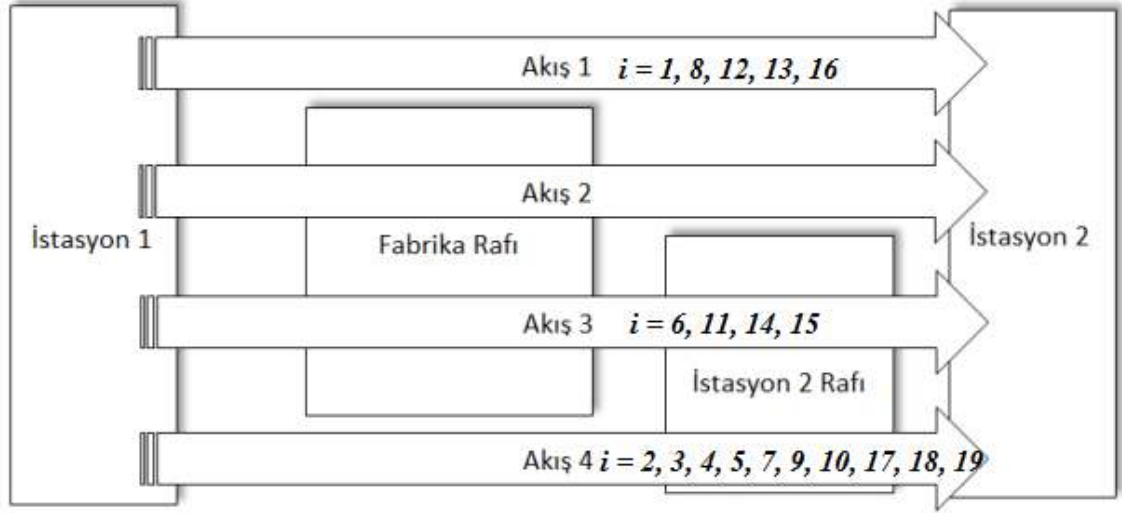
6.4 Senaryo Analizi

Mevcut matematiksel modelde, taşıma maliyetlerinin minimizasyonu amacının elde edilebilmesi için taşıma aracı maliyetini ifade eden IC_k parametresi, sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır. Bir önceki bölümde çözüme kavuşturulan modelde, IC_k parametresini her k taşıma aracı için elde edilen en yüksek ve en düşük maliyetlerin ortalaması alınarak sonuca ulaşılmıştır. Mevcut model, $k = 1$ (Transpalet) ve $k = 2$ (Forklift) araçları için en düşük maliyet değeri, $k = 3$ (Reachtruck) aracı için ise en yüksek maliyet değeri modele dahil edilerek IC_k parametreleri güncellenmiştir ve Çizelge 6.31'de belirtilmiştir.

Çizelge 6.31 Güncellenen IC_k değerleri

IC_k	
1	65
2	4300
3	20000

Aynı şartlar altında çözüme kavuşturulan model sonrası elde edilen sonuç değerleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.10 X_{ij} karar değişkenine ait yeni atama sonuçları

Çizelge 6.32 Y_{ik} karar değişkenine ait yeni atama sonuçları

Y_{ik}	1	2	3
1	0	1,00	0
2	0	1,00	0
3	0	1,00	1,00
4	0	1,00	0
5	0	1,00	1,00
6	0	1,00	0
7	0	0	1,00
8	0	1,00	0
9	0	1,00	0
10	0	0	0
11	0	1,00	1,00
12	0	1,00	1,00
13	0	1,00	1,00
14	0	1,00	1,00
15	0	0	1,00
16	1,00	0	1,00
17	1,00	1,00	1,00
18	1,00	1,00	0
19	0	1,00	1,00

Çizelge 6.33 Üçüncü aşamaya ait eski ve güncel sonuç değerlerinin karşılaştırması

	1. Çözüm	2. Çözüm
Z_1 (Min.) / TL	1625788,97	1880556,14
Z_2 (Min.) / TL	103545,23	106923,98
Z_3 (Maks.)	6,43	6,47
α	0,98	0,98
μ_1	0,99	0,98
μ_2	0,98	0,98
μ_3	0,78	0,80
$ND_k, \forall k$	$k=1$: 0,021 $k=2$: 0,173 $k=3$: 0,102	$k=1$: 0,022 $k=2$: 0,246 $k=3$: 0,110
alf	0,066	0,066
bt	0,086	0,085
gm	0,024	0,024

Şekil 6.10'da görüldüğü üzere X_{ij} atama değerlerinde birtakım değişimler meydana gelmiştir. Güncel değerlerle elde edilen sonuçta $j = 2$ akışına herhangi bir atama yapılmamıştır. Şekil 6.9'da $j = 2$ yoluna atanan $i = 1$ ürününün Şekil 6.10'da ise $i = 1$ yoluna atanmış olduğu görülmektedir. Buradan, taşıma $k = 1$ ve 2 taşıma araçlarının yatırım maliyetlerinin düşüşü sonrası depolama maliyetinden kaçınılarak taşıma maliyetine yönelim olduğu görülmektedir. Aynı şekilde $i = 3$ ve 19 ürünlerinin $j = 3$ yolundan $j = 4$ yoluna kaydığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte aynı ürünün $k = 2$ ve 3 taşıma araçlarına birlikte atandığı gözlenmektedir. Böylece taşıma maliyeti iki araç arasında paylaşılmaktadır ve $j = 3$ akışındaki raflar arası tekrarlı taşımalarından kaçınılmaktadır. Çizelge 6.32'de Y_{ik} karar değişkenlerine ait atama değerleri görülmektedir. Güncel sonuçlarda, $k = 1$ (Transpalet) aracına yapılan atamalarda artış olduğu gözlemlenmektedir. Çizelge 6.33'te ise üçüncü aşama çözüm sonuçlarının kıyaslaması mevcuttur. Güncel parametrelerle çözümlenen problemde Z_1 ve Z_2 maliyet kalemlerinde artış gözlemlenirken, Z_3 ağırlık değerinde de düşük oranda bir yükselme görülmektedir. Bu doğrultuda, taşıma maliyetlerinin kalemlerinden olan yatırım maliyeti (IC_k) değerinin toplam maliyet ve atama karar değişkenleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

7.1 Sonuç

Mevcut çalışmada, beyaz eşya üreticisi bir firmanın belirli iş istasyoları arasındaki ürün akışları analiz edilmiştir. Uygun malzeme akışlarının belirlenmesi, ürünlerin karakteristik özelliklerine uygun malzeme akışlarına atanması, uygun taşıma araçlarının ve sayılarının belirlenmesi gibi amaçlar dahilinde çok amaçlı bir doğrusal olmayan matematiksel optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Malzeme akışlarının karakteristik özelliklerinin analiz edilmesi için ABC/XYZ Analizleri'nden ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'den, matematiksel modelin çözüme kavuşturulması için ise Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) tekniklerinden Sakawa ve Nishizaki Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı'ndan faydalanılmıştır. Sakawa ve Nishizaki yaklaşımı kapsamında, maksimize ya da minimize edilmek istenen amaçlar için uzman görüşlerine dayanılarak farklı tatmin seviyeleri belirlenmiştir ve matematiksel model, GAMS yazılımı kullanılarak çözüme kavuşturulmuştur. Ele alınan model, farklı uzman görüşleri dahilinde Yapılan literatür araştırması kapsamında, üretim lojistiği konusunda yapılan çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte incelenen yayınların genelinde üretim lojistiği konusunda yapılan çalışmalarda çoğunlukla deterministik verilerden faydalandığı gözlemlenmiştir.

7.2 Öneriler

Mevcut matematiksel modelde ürünlerin, ilgili fonksiyonel alanlara atanması için karakter analizleri yapılmıştır. Sonuçlar ABC/XYZ Analizleri sonucunda elde edilmiştir ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile puanlandırılmıştır. Bu süreçte, uzman görüşü dahilinde bir sıralama ölçütü geliştirilmiştir. Sıralama ölçütleri, farklı uzman görüşleri dahilinde tekrar şekillendirilebilir durumdadır. Bununla birlikte, XYZ Analizi sonucu elde edilen CV değerlerine ait aralıklar, yeni uzman görüşleri dahilinde yeniden düzenlenebilir durumdadır.

Matematiksel model, Sakawa ve Nishizaki Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme metodu kullanılarak çözüme kavuşturulmuştur. Yaklaşım içerisindeki tatmin seviyesi (δ), alt ve üst memnuniyet seviyesi sınırları (Δ_L , Δ_U) değerlerinin farklı uzman görüşleri çerçevesinde yeniden düzenlenmesi mümkündür. Bununla birlikte Zimmermann Max-Min Yaklaşımı, Ling ve Cheng Bulanık Çok Amaçlı Yaklaşımı vb. yöntemler kullanılarak farklı çözüm yaklaşımları da kullanılabilir durumdadır.

(4.1) eşitliğinde ifade edilen amaç fonksiyonundaki taşıma maliyetleri (H_{ijk}) değeri, (4.15) – (4.17) arasındaki eşitlikler geliştirilerek hesaplanmıştır. H_{ijk} değeri, farklı süreçler için yeniden düzenlenebilir ve etkili karar değişkenleri yeni prosesler için yeniden düzenlenebilir durumdadır.

KAYNAKLAR

- [1] Heragu, S., Du, L., Mantel, R. J. ve Schuur, P. C., (2005). "Mathematical model for warehouse design and product allocation", *International Journal of Production Research*, 43(2):327-338.
- [2] Ashayeri, J. ve Gelders, L. F., (1985). "Warehouse design optimization", *European Journal of Operational Research*, 21(3): 285-294.
- [3] Bozer, Y. A., (1985). *Optimizing Throughput Performance in Designing Order Picking Systems*, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
- [4] Hackman, S. T., Rosenblatt, M. J. ve Olin, J. M., (1990). "Allocating items to an automated storage and retrieval system", *IIE Transactions*, 22(1): 7-14.
- [5] Hackman, S. T. ve Platzman, L. K., (1990). "Near-optimal solution of generalized resource allocation problems with large capacities", *Operations Research*, 38(5): 902-910.
- [6] Tsui, L. Y. ve Chang, C. H., (1990). "A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards", *Computers & Industrial Engineering*, 19(1): 309-312.
- [7] Cormier, G. ve Gunn, E. A., (1992). "A review of warehouse models", *European Journal of Operational Research*, 58(1): 3-13.
- [8] Gray, A. E., Karmarkar, U. S. ve Seidmann, A., (1992). "Design and operation of an order-consolidation warehouse: Models and application", *European Journal of Operational Research*, 58(1): 14-36.
- [9] Yoon, C. S., ve Sharp, G. P., (1996). "A structured procedure for analysis and design of order pick systems", *IIE Transactions*, 28(5): 379-389.
- [10] Van den Berg, J. P., Sharp, G. P., Gademann, A. N. ve Pochet, Y., (1998). "Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments", *European Journal of Operational Research*, 111(1): 98-113.
- [11] Van Den Berg, J. P., (1999). "A literature survey on planning and control of warehousing systems", *IIE Transactions*, 31(8): 751-762.
- [12] De Koster, R., Le-Duc, T. ve Roodbergen, K. J., (2007). "Design and control of warehouse order picking: A literature review", *European Journal of Operational Research*, 182(2): 481-501.

- [13] Napolitano, M., (2000). Making the Move to Cross Docking: A Practical Guide to Planning, Designing, and Implementing A Cross Dock Operation, Warehousing Education and Research Council, USA.
- [14] Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van Houtum, G. J., Mantel, R. J. ve Zijm, W. H. M., (2000). "Warehouse design and control: Framework and literature review", *European Journal of Operational Research*, 122(3): 515-533.
- [15] Bartholdi III, J. J. ve Gue, K. R., (2000). "Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal", *Operations Research*, 48(6): 823-832.
- [16] Li, X. ve Ouyang, Y., (2010). "A continuum approximation approach to reliable facility location design under correlated probabilistic disruptions", *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(4): 535-548.
- [17] Pekarčíková, M., Trebuňa, P. ve Markovič, J. (2014). "Case Study of Modelling the Logistics Chain in Production", *Procedia Engineering*, 96: 355-361.
- [18] Poulos, P. N., Rigatos, G. G., Tzafestas, S. G. ve Koukos, A. K., (2001). "A Pareto-optimal genetic algorithm for warehouse multi-objective optimization", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14(6): 737-749.
- [19] Lai, K. K., Xue, J. ve Zhang, G., (2002). "Layout design for a paper reel warehouse: A two-stage heuristic approach", *International Journal of Production Economics*, 75(3): 231-243.
- [20] Zhang, G. Q., Xue, J. ve Lai, K. K., (2002). "A class of genetic algorithms for multiple-level warehouse layout problems", *International Journal of Production Research*, 40(3): 731-744.
- [21] Lee, M. K., ve Elsayed, E. A., (2005). "Optimization of warehouse storage capacity under a dedicated storage policy", *International Journal of Production Research*, 43(9): 1785-1805.
- [22] Zhang, G. Q. ve Lai, K. K., (2006). "Combining path relinking and genetic algorithms for the multiple-level warehouse layout problem", *European Journal of Operational Research*, 169(2): 413-425.
- [23] Greasley, A., (2008). "Using simulation for facility design: A case study", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16(6): 670-677.
- [24] Ezaki, T., Yanagisawa, D., Nishinari, K., (2015). "Dynamics of assembly production flow", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 427: 62-73.
- [25] Becker, T., Beber, M. E., Windt, K. ve Hütt, M. T., (2012). "The impact of network connectivity on performance in production logistic networks", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 5(4): 309-318.
- [26] Filliger, R. ve Hongler, M. O., (2005). "Cooperative flow dynamics in production lines with buffer level dependent production rates", *European Journal of Operational Research*, 167(1): 116-128.
- [27] Hadi-Vencheh, A. ve Mohamadghasemi, A., (2013). "An integrated AHP-NLP methodology for facility layout design", *Journal of Manufacturing Systems*, 32(1): 40-45.

- [28] Kulturel-Konak, S., (2012). "A linear programming embedded probabilistic tabu search for the unequal-area facility layout problem with flexible bays", *European Journal of Operational Research*, 223(3): 614-625.
- [29] Bauer, W., Ganschar, O. ve Gerlach, S., (2014). "Development of a Method for Visualization and Evaluation of Production Logistics in a Multi-variant Production", *Procedia CIRP*, 17: 481-486.
- [30] Kuhlmann, P., Edtmayr, T. ve Sihn, W., (2011). "Methodical approach to increase productivity and reduce lead time in assembly and production-logistic processes", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4(1): 24-32.
- [31] Süer, Ü., (2012). Çağdaş Depo Tasarımı Kırtastiye Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Turan, G., (2006). Depo Sistemleri ve Depo Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.
- [33] Çoban, G. ve Güven, T., (2011). Otomotiv Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir Firmada Fabrika İçi Lojistik Sürecinin İyileştirilmesi, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [34] Altun, K. ve Göleç, A., (2011). "Üretim kontrol sistemlerini kıyaslayıcı bir benzetim çalışması", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2): 200-207.
- [35] Gülenç, F. ve Bilgin, G., (2010). "Yatırım Kararları İçin Bir Model Önerisi: AHP Yöntemi", *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Öneri Dergisi*, 34: 97-107
- [36] Aladağ, Z., (2004). Karar Teorisi. Genişletilmiş 2.b., Kocaeli Üniversitesi Yayınları., Kocaeli.
- [37] Karakaya, K., (2003). İstanbul Boğazından Gemilerin Emniyetli Geçişinin Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [38] Steward, T.J., (1992). "A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice", *Omega*, 20(5-6): 569-586.
- [39] Supçiller, A. ve Çapraz, O., (2011). "AHP – TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması", *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 13: 1-22.
- [40] Tiryaki, A. ve Kazan, R., (2007). "Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi", *Mühendis ve Makina*, 48 (565): 3-8.
- [41] Kasabov, K., (1998). Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems and Knowledge Engineering, The MIT Press, London.
- [42] Paksoy, T., Pehlivan, N. ve Özceylan, E. (2013). Bulanık Küme Teorisi, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- [43] Dhoka, D. K. ve Choudary, Y. L., (2013). "XYZ Inventory Classification & Challenges", *IOSR Journal of Economics and Finance*, 2: 23-26.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Selman KARAGÖZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.10.1988 / İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : karagozselman@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Büyükşehir Hüseyin Yıldız Anadolu Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015 – Devam Ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013 - 2014	B/S/H Home Appliances	MSc. Project Student
2012 - 2013	Unigum A.Ş.	Teknik Müdür Yardımcısı