

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜRETİMDE YALIN LOJİSTİK SİSTEMİNİN AKSİYOMLARLA
TASARIMI**

OZAN ATEŞ

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET MESUT ÖZGÜRLER**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜRETİMDE YALIN LOJİSTİK SİSTEMİNİN AKSİYOMLARLA
TASARIMI**

Ozan ATEŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 25.07.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet Mesut ÖZGÜRLER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet Mesut ÖZGÜRLER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Bülent DURMUŞOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Semih ÖNÜT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emre ÇEVİKCAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Lojistiğin diğer boyutlarının aksine iç lojistik veya üretim lojistiği ile ilgili literatürde halen yeterli sayıda çalışma mevcut değildir. Ancak iç lojistik doğrudan üretimin kalitesine etki eden ve üretimin süresini belirleyen bir unsur olduğundan önemi yüksektir. Son yıllarda konu ile ilgili tez, makale ve akademik araştırmalar artış göstermiş, üretim lojistiği kavramı akademi ve endüstri çevrelerinde sıklıkla ele alınmaya başlanmıştır. İşletmeler için üretim faaliyetinin kalitesini arttırarak süresini kısaltmak değişken müşteri beklentilerini sağlayabilmek, çalkantılı iş dünyasında ayakta kalabilmek ve rekabette öne geçebilmek için önemli bir avantajdır.

Bu çalışmada bana her türlü desteği veren, çalışma konusunun belirlenmesinden tez çalışmamı nihayetlendirene kadar emeklerini benden esirgemeyen sevgili hocalarım Prof. Dr. M. Mesut ÖZGÜRLER'e, Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU'na, Prof. Dr. Umut R. TUZKAYA'ya Prof. Dr. Semih ÖNÜT'e, Doç. Dr. Emre ÇEVİKCAN'a ve Şenim ÖZGÜRLER'e ve uygulama örneği için teknik saha ziyaretleri ayarlayan ve gerekli bilgi ve belgeleri sağlayan Lojistik Şefi Ekrem ERDOĞAN'a ve Bant Boru A.Ş. firmasına teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmalarım sırasında desteklerini ve anlayışlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma, yöneticilerime, emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili eşime ve değerli aileme teşekkürlerimi, tez çalışmalarım sırasında dünyaya gelen oğlum Kerem'e sevgilerimi sunarım.

Temmuz, 2018

Ozan ATEŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
YALIN ÜRETİM SİSTEMİ.....	4
2.1 Yalın Felsefe.....	4
2.2 Yalın Üretimin Tanımı.....	5
2.3 Yalın Üretimin Tarihi.....	8
2.4 Yalın Üretim Teknikleri.....	12
2.4.1 Tek Parça Akışı.....	13
2.4.2 U Hatları, İş İstasyonu.....	13
2.4.3 Hazırlık Sürelerinin Düşürülmesi (SMED).....	14
2.4.4 Kanban Sistemi.....	14
2.4.5 Üretimde Düzenlilik ve Karma Modelli Çizelgeleme.....	16
2.4.5.1 Üretimde Düzgünleştirme.....	16
2.4.5.2 Üretimde Düzgünleştirme Kutusu.....	16

2. 4. 6 Toplam İş Denetimi.....	16
2. 4. 7 Sıfır Hata.....	17
2. 4. 8 Toplam Üretken Bakım.....	17
2. 4. 9 Sürekli İyileştirme.....	18
2. 4. 10 Tam Zamanında Üretim (Just in Time – JIT).....	19
2. 4. 11 Toplam Kalite Yönetimi.....	20
2. 4. 12 Otonomasyon (Jidoka).....	21
2. 4. 13 5S (Ayıklama, Düzenleme, Temizlik, Standartlık, Eğitim-Disiplin)...	21
2. 4. 14 Kalite Çemberleri.....	23
2. 5 Yalın Üretimde İsraf.....	23
2. 5. 1 Fazla Stoğun Sebepleri.....	25
2. 5. 2 Fazla Stoğun Zararları.....	26
BÖLÜM 3	
YALIN LOJİSTİK.....	29
3. 1 Yalın Lojistiğin Amacı ve Sağladıkları.....	30
3. 2 Yalın Lojistiğin Klasik Lojistik Anlayışından Farkı.....	31
3. 3 İç Lojistik.....	32
3. 3. 1 Fabrika İçi Malzeme Taşıma Sistemleri.....	32
3. 3. 2 Malzeme Taşımanın Amaçları.....	33
3. 3. 3 Malzeme Taşıma İlkeleri.....	35
3. 3. 4 Malzeme Taşıma Sisteminde Performans Göstergeleri.....	37
3. 3. 5 Malzeme Taşıma Araçlarının Türleri.....	38
3. 3. 6 Malzeme Taşımada Kullanılan Yardımcı Araçlar.....	45
3. 3. 7 Malzeme Taşıma Seçiminde Etkin Olan Kriterler.....	47
BÖLÜM 4	
İÇ LOJİSTİKTE HAT BESLEME YÖNTEMLERİ.....	53
4. 1 Sürekli Tedarik.....	53
4. 2 Parti Tipi Besleme.....	54
4. 3 Sıralı Üretim.....	54
4. 4 Set Şeklinde Teslimat.....	56
BÖLÜM 5	
İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN ANA BİLEŞENLERİ VE LİTERATÜR TARAMASI.....	59

5. 1	Yalın Lojistik ve Döngüsel Sefer Taşıma Sistemi.....	59
5. 2	İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Depolara İlişkin Çalışmalar.....	61
5. 3	İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Malz. Taşıma Araçlarına Yönelik Çal.....	62
5. 4	İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Hücresel Yerleşim Düzeni ve “Depo- Hücre”, “Hücre-Hücre” ve “Hücre-Depo” Arası Akışlara Yönelik Çalışmalar.....	64
5. 5	İç Lojistik Sisteminin Temel Bileşenlerine Yönelik Yapılan Literatür Araştırması Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi.....	64

BÖLÜM 6

YALIN LOJİSTİKTE AKSİYOMLARLA TASARIM METODOLOJİSİ VE LİTERATÜR TARAMASI.....

6.1	Yöntem Hakkında Genel Bilgi.....	65
6. 2	Ön Hazırlık Aşaması (To).....	68
6. 3	Bulanık Mantık.....	69
6. 3. 1	Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar.....	71
6. 3. 1. 1	Bulanık Kümeler.....	71
6. 3. 1. 2	Bulanık Sayılar.....	73
6. 3. 1. 3	Bulanık Sayılarda İşlemler.....	75
6. 3. 1. 4	Üyelik Fonksiyonları.....	76
6. 3. 1. 5	Birleşme Özelliği.....	81
6. 3. 1. 6	Kesişme Özelliği.....	82
6. 3. 1. 7	Evrik Alma Özelliği.....	83
6. 3. 1. 8	Standart Formlar ve Sınırlar.....	83
6. 3. 1. 9	Bulanık Kümelerde Kural Tabanı ve Çıkarım Süreci.....	84
6. 3. 1. 10	Bulanıklaştırma.....	85
6. 3. 1. 11	Çıkarım.....	87
6. 3. 1. 12	Durulaştırma.....	88
6. 3. 1. 12. 1	Ağırlık Merkezi Yöntemi.....	88
6. 3. 1. 12. 2	Ağırlıklı Ortalama Yöntemi.....	88
6. 3. 1. 12. 3	En Büyük Üyelik Derecesi.....	89
6. 4	Bulanık Aksiyomlarla Tasarım.....	89
6. 4. 1	Bulanık Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı (T ₁).....	89
6. 4. 2	Ağırlıklı Bulanık Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı (T ₂).....	91
6. 4. 3	Sonuçların Değerlendirilmesi ve Yöntemin Karşılaştırılması (T ₃).....	92
6. 5	Tasarım Yöntemleri ve Aksiyomlarla Tasarım (T ₄).....	92
6. 5. 1	Tasarım.....	92
6. 5. 2	Çeşitli Tasarım Yöntemleri.....	95
6. 5. 3	Aksiyomlarla Tasarım.....	96
6. 5. 3. 1	Aksiyomla Tasarımın Amacı.....	96
6. 5. 3. 2	Aksiyomlarla Tasarım Terimleri.....	97
6. 5. 3. 3	Tasarımın Fonksiyonel İhtiyaçları.....	97
6. 5. 3. 4	Bilgi Sahaları ve Haritalandırma.....	98
6. 5. 3. 5	Tasarımın Zikzak ile Ayrıştırılması.....	99
6. 5. 3. 6	Aksiyomlarla Tasarım Aksiyomları.....	99
6. 5. 3. 7	Tasarım Sonuçları.....	100
6. 5. 3. 8	Tasarım Teoremleri.....	102
6. 5. 3. 9	Tasarım Matrisi.....	103
6. 5. 3. 10	Bilgi İçeriğinin Hesaplanması.....	104

6. 6	Tasarımın Uygulanması (T5).....	107
6. 7	Tasarımın Belirlenen Performans Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi (T6)..	108
6. 8	AD İlkelerine Göre Performans Geliştirme Prosedürü (T7).....	108
6. 9	Mevcut Taşıma Sisteminin Geliştirilmesi (T8).....	108
6. 10	Yeni Hedeflerin Belirlenmesi (T9).....	108
6. 11	Aksiyomlarla Tasarım Literatür Matrisi	108

BÖLÜM 7

ÜRETİMDE YALIN LOJİSTİK SİSTEMİ İÇİN ÖNERİLEN TASARIM METODOLOJİSİ UYGULAMASI.....

7. 1	Uygulama Çalışmasının Yapıldığı Firma Hakkında.....	127
7. 2	En Uygun Taşıma Yönt. Seçilebilmesi için Bilgi Aksiyomu Uygulaması.....	137
7. 2. 1	Teslim Kalitesi.....	138
7. 2. 2	Lojistik Maliyet.....	139
7. 2. 3	Teslim Süresi.....	139
7. 2. 4	Uygunluk.....	139
7. 2. 5	Taşıma Hacmi.....	139
7. 2. 6	Güvenilirlik.....	139
7. 2. 7	Koordinasyon kolaylığı.....	140
7. 3	Bulanık Bilgi Aksiyomu Metodolojisi ile Uygun Taşıma Yönteminin Belirlenmesi.....	142
7. 3. 1	Teslim Kalitesi Kriterine Göre Bilgi İçeriğinin Hesaplanması.....	142
7. 3. 2	Lojistik Maliyet Kriterine Göre Bilgi İçeriğinin Hesaplanması.....	143
7. 3. 3	Teslim Süresi Kriterine Göre Bilgi İçeriğinin Hesaplanması.....	147
7. 3. 4	Uygunluk Kriterine Göre Bilgi İçeriğinin Hesaplanması.....	148
7. 3. 5	Taşıma Hacmi Kriterine Göre Bilgi İçeriğinin Hesaplanması.....	152
7. 3. 6	Güvenilirlik Kriterine Göre Bilgi İçeriğinin Hesaplanması.....	155
7. 3. 7	Koordinasyon Kolaylığı Kriterine Göre Bilgi İçr. Hesaplanması.....	158
7. 4	Ağırlıklandırılmış Bulanık Bilgi Aksiyomu Metodolojisi ile Uygun Taşıma Yönteminin Belirlenmesi.....	162
7. 5	Yalın Lojistik Sisteminin Bağımsızlık Aksiyomu Metodolojisi ile Tasarımı..	171
7. 6	Aksiyomlarla Tasarım İlkelerine Göre Performans Geliştirme Prosedürü.....	198

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER.....

KAYNAKLAR.....

EK-A

İÇ LOJİSTİK LİTERATÜR MATRİSİ.....

EK-B

AKSİYOMLARLA TASARIM LİTERATÜR MATRİSİ.....

EK-C

EN UYGUN İÇ LOJİSTİK TAŞIMA YÖNTEMİNİN SEÇİLEBİLMESİ İÇİN BULANIK AKSİYOMLARLA TASARIM UYGULAMASININ HESAPLAMALARI

ÖZGEÇMİŞ.....

SİMGE LİSTESİ

I	Bilgi içeriği
p	Fonksiyonel ihtiyacı gerçekleştirme olasılığı
dr	Tasarım aralığı
dr^1	Sistemin alt sınırı
dr^u	Sistemin üst sınırı
p_s	Sistem olasılık yoğunluk fonksiyonu
s_r	Sistem aralığı
c_r	Ortak alan
A_{sr}	Sistem aralığının altındaki alan
A_{cr}	Ortak aralığın altındaki alan
w_j	Kriterinin ağırlığı
p_{ij}	i. yöntemin j kriterini (fonksiyonel ihtiyacını) gerçekleştirme olasılığı
I_{ij}	i. yöntemin j kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iTK}	i. yöntemin teslim kalitesi kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iLM}	i. yöntemin lojistik maliyeti kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iTS}	i. yöntemin teslim süresi kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iU}	i. yöntemin uygunluk kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iTH}	i. yöntemin taşıma hacmi kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iG}	i. yöntemin güvenilirlik kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iU}	i. yöntemin uygunluk kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iG}	i. yöntemin güvenilirlik kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iKK}	i. yöntemin koordinasyon kolaylığı kriteri için elde edilen bilgi içeriği
x_a	X ekseninde herhangi bir sayı
x_b	X ekseninde herhangi bir sayı
x_s	Risk derecesinin durulaştırılmış değeri
μ	Üyelik derecesi
$\mu_A(x)$	x Değerinin A kümesindeki üyelik derecesi

KISALTMA LİSTESİ

WIP	Work in Process (Süreç İçi Stok)
SMED	Single Minute Exchange of Dies (Hazırlık Sürelerinin Düşürülmesi)
JIT	Just in Time (Tam Zamanında)
5S	Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke (Tasnif, Tertip, Temizlik, Tek Tip, Terbiye)
KAIZEN	Kai (Değişim) ve Zen (Daha İyiye Doğru), (Daha İyiye Doğru Sürekli Değişim)
TZÜ	Tam Zamanında Üretim
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TPM	Total Productive Maintenance (Toplam Üretken Bakım)
EDI	Electronic Data Interchange (Elektronik Veri Değişimi)
FTL	Full Truck Load (Tam Yüklü Araç)
LTL	Less Than Truck Load (Tam Yüklü Olmayan Araç)
ÜDV	Üretim Döngü Verimliliği
MTGO	Malzeme Taşıma İşçilik Oranı
DAKO	Depolama Alanı Kullanım Oranı
MTAKO	Malzeme Taşıma Aracı Kullanım Oranı
KAKO	Koridor Alanı Kullanım Oranı
HO	Hareket / Operasyon Oranı
HYO	Hasarlı Yük Oranı
EO	Enerji Oranı
AGV	Automated Guided Vehicle (Otomatik Yönlendirmeli Araç)
FUMAHES	Fuzzy Multi-Attribute Material Handling Equipment Selection (Bulanık Çok Amaçlı Malzeme Elleçleme Ekipmanı Seçimi)
F-ANP	Fuzzy Analytic Network Process (Bulanık Analitik Ağ Prosesi)

F-PROMETHEE	Fuzzy Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (Bulanık Öncelik Sıralama Metodu)
TOPSIS	Technic for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe göre Tercih Edilebilen Çözüm Tekniği)
SAW	Simple Additive Weighting (Basit Katkılı Ağırlıklandırma)
NP	Non-Deterministic (Deterministik Olmayan)
AD	Axiomatic Design (Aksiyomlarla Tasarım)
VA	Analyse of Value (Değer Analizi)
QFD	Quality Function Deploiment (Kalite Fonksiyonu Açılımı)
CE	Eşzamanlı Mühendislik
RD	Robust Tasarım
DFM	Üretim için Tasarım
TRIZ	Yenilikçi Problem Çözme Tasarımı
DFSS	6 Sigma için Tasarım
FR	Functional Requirement (Fonksiyonel İhtiyaçlar)
DP	Design Parameter (Tasarım Parametresi)
PV	Process Variable (Süreç Değişkeni)
ROI	Return of Investment (Yatırımın Geri Dönüşü)
KOBİ	Küçük ve Orta Boy İşletmeler
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayar Yazımlı Yönetim)
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (Karar Vermek İçin Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı)
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
KPI	Key Performance Indicator (Anahtar Performans Göstergeleri)
BTA	Boru Taşıma Aracı
3PL	Thirt Party Logistics (Üçüncü Parti Lojistik Hizmet Sağlayıcıları)
TK	Teslim Kalitesi
LM	Lojistik Maliyet
TS	Teslim Süresi
U	Uygunluk
TH	Taşıma Hacmi
G	Güvenilirlik
KK	Koordinasyon Kolaylığı
ET	El Arabası ile Taşıma Yöntemi
DS	Döngüsel Sefer ile Taşıma Yöntemi
KT1	Kombine Taşıma 1 İsimli Taşıma Yöntemi

KT2	Kombine Taşıma 2 İsimli Taşıma Yöntemi
FMEA	Failure Mode and Effect Analyse (Hata Türü ve Etkileri Analizi)
RFID	Radio Frequency Identification (Radyo Frekanslı Tanımlama)



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Yalın üretimin anahtar faktörleri.....6
Şekil 2. 2	Tam zamanında üretim felsefesi.....20
Şekil 3. 1	“Malzeme+Hareket=Metot” eşitliğinde malzeme boyutu içeriği.....48
Şekil 3. 2	“Malzeme+Hareket=Metot” eşitliğinde hareket boyutu içeriği.....48
Şekil 3. 3	Şekil 3.3 “Malzeme+Hareket=Metot” eşitliğinde metot boyutu içeriği.....49
Şekil 3. 4	Malzeme taşıma eşitliği.....49
Şekil 5. 1	Tedarikçiden tesiste, tesisten müşteriye ve tesis içi döngüsel sefer sistemi.....61
Şekil 6. 1	Geri beslemeli yalın iç taşıma sistemi tasarım prosedürü.....67
Şekil 6. 2	Klasik mantık modeli.....73
Şekil 6. 3	Bulanık mantık modeli.....74
Şekil 6. 4	Mesafe bulanık alt kümeleri.....77
Şekil 6. 5	Bitişik dikdörtgen gösterim.....77
Şekil 6. 6	Örtüşmeli üçgen gösterim.....78
Şekil 6. 7	Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınır kısımları.....79
Şekil 6. 8	Subnormal bulanık küme.....80
Şekil 6. 9	Konveks normal bulanık küme.....80
Şekil 6. 10	Konveks olmayan normal bulanık küme.....81
Şekil 6. 11	Bulanık kümelerin birleşme özelliği.....82
Şekil 6. 12	Bulanık kümelerin kesişme özelliği.....82
Şekil 6. 13	Bulanık kümelerin evrik alma özelliği.....83
Şekil 6. 14	Bir girdi altkümesinin bir çıktı altkümesine gitmesi.....84
Şekil 6. 15	Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu.....85
Şekil 6. 16	Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu.....86
Şekil 6. 17	İki girdi değişkeninin bulanıklaştırılması.....86
Şekil 6. 18	Bahşiş miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu.....87

Şekil 6. 19	Bulanık çıkarım kümesi.....	87
Şekil 6. 20	Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma.....	88
Şekil 6. 21	Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma.....	89
Şekil 6. 22	Ölçülemeyen faktörler için sayısal yaklaşım sistemi.....	90
Şekil 6. 23	Ölçülebilen faktörler için sayısal yaklaşım sistemi.....	90
Şekil 6. 24	Sistem ve tasarım aralıklarının ortak alanı.....	91
Şekil 6. 25	Tasarımdan beklentiler.....	94
Şekil 6. 26	Değişik faaliyet alanlarının ürün tasarım sürecine katkıları.....	95
Şekil 6. 27	Değişik faaliyet alanlarının ürün tasarım sürecine katkıları.....	97
Şekil 6. 28	AD'nin temel işleyişi.....	97
Şekil 6. 29	Aksiyomlarla tasarımda ürün geliştirme alan modeli.....	98
Şekil 6. 30	Zikzak ile ayırıştırma.....	99
Şekil 6. 31	Sonuçların aksiyomlarla ilişkisi.....	101
Şekil 6. 32	Fonksiyonel ihtiyaçlar için tasarım aralığı, sistem aralığı ve ortak aralık-1....	106
Şekil 6. 33	Fonksiyonel ihtiyaçlar için tasarım aralığı, sistem aralığı ve ortak aralık-2....	106
Şekil 6. 34	Düzgün olasılık dağılımı.....	107
Şekil 7. 1	Kaplama fabrikasına gelen çelik sac rulolar.....	128
Şekil 7. 2	Gelen sac ruloların dilimleme işlemi.....	129
Şekil 7. 3	Kaplama fabrikasından çıkan yarı mamullerin şekillendirme fabrikasına taş..	129
Şekil 7. 4	Boru üretim prosesi.....	130
Şekil 7. 5	Şekillendirme fabrikası boru kesim prosesi.....	131
Şekil 7. 6	Üretim ortamında kullanılan el arabaları (boru taşıma aracı).....	132
Şekil 7. 7	Şekillendirme fabrikası yerleşim düzeni ve malzeme hareketleri şablonu.....	133
Şekil 7. 8	Fren borusu görseli.....	135
Şekil 7. 9	El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	144
Şekil 7. 10	Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	145
Şekil 7. 11	Kombine taşıma 1 (otomatik boru taşıma makinesi + el arabası ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	146
Şekil 7. 12	Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	147
Şekil 7. 13	El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	149
Şekil 7. 14	Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	150
Şekil 7. 15	Kombine taşıma 1 (otomatik boru taşıma makinesi + el arabası ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	151

Şekil 7. 16	Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	151
Şekil 7. 17	El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	152
Şekil 7. 18	Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	154
Şekil 7. 19	Kombine taşıma 1 (otomatik boru taşıma makinesi + el arabası) ile taşıma...	154
Şekil 7. 20	Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	155
Şekil 7. 21	El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	156
Şekil 7. 22	Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	157
Şekil 7. 23	Kombine taşıma 1 (otomatik boru taşıma makinesi + el arabası ile taşıma)...	157
Şekil 7. 24	Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması).....	158
Şekil 7. 25	El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	159
Şekil 7. 26	Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	160
Şekil 7. 27	Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	161
Şekil 7. 28	Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması.....	162
Şekil 7. 29	Yerleşim Düzeni ve Yeni Malzeme Hareketleri Şablonu.....	168
Şekil 7. 30	Yalın iç lojistik (döngüsel sefer – otomatik malzeme taşıma makinesi) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması.....	172
Şekil 7. 31	Yalın iç lojistik (döngüsel sefer – otomatik malzeme taşıma makinesi) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR _n – DP _n).....	173
Şekil 7. 32	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR _{1n} – DP _{1n}).....	175
Şekil 7. 33	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR _{14n} – DP _{14n}).....	178
Şekil 7. 34	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR _{141n} – DP _{141n}).....	181
Şekil 7. 35	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR _{142n} – DP _{142n}).....	184
Şekil 7. 36	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR _{143n} – DP _{143n}).....	186
Şekil 7. 37	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR _{15n} – DP _{15n}).....	188
Şekil 7. 38	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR _{15n} – DP _{15n}).....	190

Şekil 7. 39	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR16n – DP16n).....	192
Şekil 7. 40	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı tasarımının ayrıştırılması (FR2n – DP2n).....	195
Şekil 7. 41	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması (FR1 – DP1).....	198
Şekil 7. 42	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması (FR1n – DP1n).....	199
Şekil 7. 43	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması (FR14n – DP14n).....	202
Şekil 7. 44	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması.....	204
Şekil 7. 45	Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması.....	205

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Üretim sisteminin yıllara göre gösterdiği değişimler.....	5
Çizelge 2. 2 Geleneksel üretim ile yalın üretimin karşılaştırılması.....	7
Çizelge 2. 3 Geleneksel tarzda ve yalın üretim tarzında üretim yapan iki firmanın karşılaştırması.....	7
Çizelge 2. 4 Kaizen şemsiyesi.....	19
Çizelge 2. 5 Yalın uygulamalar ve endüstri ile yönetim literatüründe (1977 – 1999) kullanılma sıklıkları.....	28
Çizelge 3. 1 Yalın lojistiğin sağladığı ölçülebilir sonuçlar.....	31
Çizelge 3. 2 Geleneksel lojistik anlayışı ile yalın lojistik kavramı arasındaki farklar.....	32
Çizelge 3. 3 Malzeme + Hareket + Yöntemler = Tercih edilen sistem.....	51
Çizelge 3. 4 Malzeme taşımada dikkat edilecek hususlar.....	52
Çizelge 7. 1 Boru çeşitlerine göre toplam üretim süreleri.....	134
Çizelge 7. 2 İstasyonlarda geçen üretim yüzdeleri ve fren borusu üretim süreleri.....	135
Çizelge 7. 3 Firma iç lojistik yapısı için gerekli olan tasarım parametre aralıkları.....	141
Çizelge 7. 4 Alternatif taşıma yöntemlerinin tasarım parametre aralıkları.....	141
Çizelge 7. 5 Taşıma yöntemleri için bilgi içeriği sonuçları.....	162
Çizelge 7. 6 Ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu için karşılaştırma tablosu.....	163
Çizelge 7. 7 Taşıma yöntemleri için ağırlıklandırılmış bilgi içeriği sonuçları.....	167
Çizelge 7. 8 Bulanık bilgi aksiyomu ile ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	167
Çizelge 7. 9 El arabası ile taşıma ve kısa tren ve otomatik malzeme taşıma makinesi ile taşıma yöntemlerinin karşılaştırılması.....	169
Çizelge 7. 10 İstasyonlarda kullanılacak kısa tren sayıları.....	170
Çizelge 7. 11 Vagon Sayısı – Güzergâh Kullanım Oranı Simülasyon Sonuçları (Tecnomatix Simülasyon Programı).....	196

ÜRETİMDE YALIN LOJİSTİK SİSTEMİNİN AKSİYOMLARLA TASARIMI

Ozan ATEŞ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Mesut ÖZGÜRLER

Satış ve pazarlama faaliyetlerinde belirli olgunluk seviyesine ulaşan işletmeler rekabette avantaj sağlayabilmek, değişken müşteri beklentilerine cevap verebilmek ve zorlu iş dünyasında ayakta kalabilmek için tedarik zincirlerinin etkinliğine odaklanmışlardır. Tedarik zincirinin önemli bir ayağı lojistik faaliyetler olup lojistiğin boyutlarını tedarik lojistiği, üretim lojistiği, dağıtım lojistiği ve tersine lojistik olarak ele alabiliriz. Lojistiğin diğer boyutlarının aksine üretim lojistiği ile ilgili literatürde halen yeterli sayılabilecek düzeyde çalışma yoktur. Halbuki üretim lojistiği doğrudan üretimin süresine ve kalitesine etki etmektedir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde konuya giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümde yalın üretim sistemi ve üçüncü bölümde yalın lojistik konularına değinilmiştir. Dördüncü bölümde iç lojistikte hat besleme yöntemlerine, beşinci bölümde iç lojistik sisteminin ana bileşenlerine ve literatür taramasına, altıncı bölümde yalın lojistikte aksiyomlarla tasarım metodolojisi ve literatür taramasına ve yedinci bölümde uygulama çalışmasına yer verilmiştir. Uygulama çalışması kapsamında Bant Boru A.Ş. firmasına saha ziyaretleri yapılmış ve teknik gözlemler yapılmıştır.

Bu çalışmada yalın felsefe bağlamında ele alınan üretim lojistiği ile ilgili bir otomotiv yan sanayi firmasının üretim ortamı incelenmiş mevcut malzeme taşımaları analiz edilmiştir. Aksiyomlarla tasarım yaklaşımı ile mevcut taşıma yöntemine ilave olarak farklı iç lojistik taşıma yöntemleri belirlenmiştir. Bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımları ile en düşük bilgi içeriğine sahip olan taşıma yöntemi en uygun taşıma yöntemi seçilmiştir. Daha sonra bağımsızlık aksiyomu yaklaşımı ile mevcut taşıma

yönteminden belirlenen yeni taşıma yöntemine geçişte tasarımcılara rehber olabilecek hiyerarşik bir tasarım yapısı ortaya konulmuştur. Yeni taşıma yönteminin performansını geliştirmek ve her zaman en üst düzeyde tutabilmek için performans geliştirme prosedürü de ortaya konulmuştur. Mevcut taşıma yöntemi ile belirlenen yeni taşıma yönteminin iş sonuçları bakımından karşılaştırılması ve elde edilen faydalar tez çalışmasının son bölümünde yer almaktadır.

Üretim lojistiğinin etkinliğinin artması ve daha hızlı, daha hasarsız, daha doğru ve daha süreçlerle entegre şekilde malzeme hareketlerinin sağlanabilmesi için yalın iç lojistik yapısının kurulabilmesi amacıyla bağımsızlık aksiyomu yaklaşımı ile hiyerarşik tasarım yapısı oluşturulmuş ve elde edilen faydaların ençoklanması ve performansın her zaman üst düzeyde tutulabilmesi için gerekli tasarım süreci performans geliştirme prosedürü olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yalın Lojistik, aksiyomlarla tasarım, üretim lojistiği, iç lojistik, bilgi aksiyomu, bağımsızlık aksiyomu



ABSTRACT

DESIGN OF LEAN LOGISTICS SYSTEM IN PRODUCTION BY AXIOMS

Ozan ATEŞ

Department of Industrial Engineering

Ph.D. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Mehmet Mesut ÖZGÜRLER

Businesses that have reached a certain level of maturity in their sales and marketing activities have focused on the effectiveness of their supply chains in order to be able to gain a competitive edge, respond to changing customer expectations and survive in a challenging business environment. An important pillar of the supply chain is logistics activities, and we can consider the dimensions of logistics as supply logistics, production logistics, distribution logistics and reverse logistics. Contrary to other dimensions of logistics, there is not still sufficient study in the literature on production logistics. However, production logistics affect the duration and quality of direct production.

After the subject is introduced in the first part of the thesis study, the lean production system in the second part and the lean logistics in the third part are mentioned. In the fourth chapter, internal logistics are used to feed the line feeds. In the fifth section, the main components of the internal logistics system and the literature review are examined. In the sixth section, simple logistics is used in the design methodology and literature search with axioms. Within the scope of the application work, Bant Boru A.Ş. Field visits to the company were made and technical observations were made.

In this study, the production material of an automotive supplier company related to the production logistics considered in the context of lean philosophy was examined and the existing material movements were analyzed. In addition to the existing transportation method, different internal logistics transportation methods have been identified with the design approach with

axioms. The fuzzy information axiom and weighted fuzzy information axiom approaches and the transportation method with the lowest information content have been chosen as the most suitable transportation method. Then, a hierarchical design structure which can guide the designers in the transition to the new transportation method determined by the independence axiom approach and the existing transportation method has been put forward. The performance improvement procedure has also been introduced to improve the performance of the new transport method and to keep it at the highest level at all times. The comparison of the new transportation method determined by the existing transportation method in terms of business results and the obtained benefits are in the last part of the thesis work.

In order to increase the efficiency of the production logistics and to establish the lean inner logistics structure so that material movements can be achieved in a faster, more undamaged, more accurate and more process-integrated manner, a hierarchical design structure is established with the independence axiomatic approach and it is necessary to maximize the benefits obtained and to always keep the performance at a high level design process performance improvement procedure.

Keywords: Lean logistics, axiomatic design, production logistics, in-plant logistics, information axiom, independence axiom



1. 1 Literatür Özeti

Günümüzün hızla değişen, belirsizliklerle boğuşan ve krizlerle sarsılan iş dünyasında değişen müşteri beklentileri ve acımasızlaşan rekabet, firmaları daha az maliyet ile daha çok fayda üretmek zorunda bırakmıştır. Firmalar ürünlerini daha kaliteli yapmaya, daha hızlı hazırlamaya ve daha çabuk teslim etmeye doğru zorlanmakta, uluslararası piyasalarda pazar payını muhafaza etme ve arttırmada, düşük maliyetle girdi teminini, ayrıca üretilen malların yine uluslararası piyasalara rekabet edebilir fiyatlarla, zamanında arzını gerekli kılmaktadır. Bu amaçları elde edebilmek için işletmeler bir yalınlaşma ve değişim süreci içine girmişlerdir.

Rekabetin geçmiş senelere göre daha da arttığı günümüzde gerek üretim gerekse de hizmet sektörüne yönelik bütün israflardan arınmayı hedefleyen yalın üretim yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özünde israflardan arınmayı hedefleyen bu yaklaşımda önemli israf kaynaklarından biri de malzeme taşımalarıdır. Bu bağlamda ön plana çıkan önemli konulardan biri yalın üretim ortamında lojistik sisteminin nasıl olması gerektiğidir. Bu durum, yalın lojistik olarak literatürde yerini almaya başlamıştır.

İnternetin yaygınlaşması ve müşterilerin bilinç düzeyinin artması ile beraber ortaya çıkan yeni düzen lojistiğin boyutlarının birbirinden bağımsız ele alınmasını imkânsız hale getirmiş ve bunun bir sonucu olarak da lojistik yönetimi kavramı akademi ve endüstri çevrelerinde yoğun bir şekilde ele alınmaya başlamıştır.

Lojistiğin boyutlarını 4 şekilde ele alabiliriz. Bunlar tedarik lojistiği, üretim lojistiği, dağıtım lojistiği ve tersine lojistikdir. Diğerlerinin aksine üretim lojistiği hakkındaki literatür

araştırmaları yetersiz düzeydedir. Her ne kadar son yıllarda konu ile ilgili tez, çalışma ve makalelerin sayısı artış gösterse de henüz yeterli denebilecek sayıda çalışma yoktur.

Tesis içi lojistik olarak da ifade edilen üretim lojistiğinin etkin ve verimli bir şekilde yönetilebilmesi için mevcut üretim sistemleri ile bütünleştirilmesi, yalın olarak tasarlanmış ve düzgünleştirilmiş olması gerekmektedir. Bununla ilgili olarak üretim ortamındaki depoların lokasyonu, üretim hatlarının veya hücrelerin lokasyonu, üretim hatlarını veya hücrelerini besleme yöntemleri, hangi taşıma araçları ile hangi taşıma yöntemleri ile ve hangi malzemelerin nasıl taşınacağı ile ilgili birçok soru üretim lojistiği ile ilgilidir.

İ lojistik kapsamında literatürde geçen ana konu baslıkları; depolama stratejilerinin belirlenmesi, depolama araçlarının seçimi, malzeme tasıma hareketlerinin yapılandırılması, hücresel yerleşim, malzeme tasıma araç türlerinin seçimi, hücre içi ve hücreler arası hareketlerin yapılandırılması gibi konulardır.

İ lojistik ile ilgili 1997 – 2018 yılları arasında yayınlanan 78 makalenin 28 adedi depo fonksiyonları ile ilgili, 31 adedi malzeme taşıma araçları ile ilgili ve 19 adedi ise hücre yerleşimi ve hücreler arası hareket ile ilgilidir. Tezimizin konusu literatürde daha düşük bir orana sahip olan hücreler arası hareket ile ilgilidir.

Aksiyomlarla tasarım ile ilgili ise 1988 – 2018 yılları arasında yayınlanan 107 makalenin 33 adedi ürün tasarımı ile ilgili, 8 adedi yazılım tasarımı ile ilgili, 15 adedi kalite ile ilgili, 19 adedi karşılaştırma – seçim süreçleri ile ilgili, 33 adedi üretim sistemlerinin tasarımı ile ilgili ve 23 tanesi ise diğer konular ile ilgilidir. Lojistiği de diğer konular arasında sayarsak tezimizin konusu aksiyomlarla tasarım konusu içinde çok düşük bir orana sahip olan diğer konular arasındaki lojistik ile ilgilidir.

1.2 Tezin Amacı

Tezimizin amacı, üretim ortamında bir makine grubundan diğer makine grubuna yapılan malzeme taşımalarını yeniden yapılandırarak taşıma yöntemini değiştirmek ve bu sayede malzeme teslim sresinde, malzeme teslim kalitesinde, taşıma koordinasyonunda, malzeme taşıma güvenliğinde iyileşme elde etmek ve daha az sefer ile daha fazla malzeme transferini mümkün olduğu yalın bir i lojistik yapısının kurulmasıdır.

Bu amaçla bir otomotiv, beyaz eşya yan sanayi firmasında uygulama rneği yapılmıştır. Üretim ortamındaki mevcut taşıma şekli gözlemlenmiş avantajları ve dezavantajları çıkartılmıştır.

Ardından mevcut taşıma yöntemine ilave olarak çeşitli yalın iç lojistik taşıma alternatifleri geliştirilmiş ve belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun taşın iç lojistik taşıma şekline karar verilmiştir. Mevcut taşıma yöntemi ile belirlenen taşıma yöntemleri arasındaki farklar gerçek iş sonuçları üzerinden incelenmiştir. Son olarak mevcut taşıma yönteminden belirlenen yeni taşıma yöntemine geçiş süreci için hiyerarşik bir tasarım yapısı ve elde edilen faydanın sürdürülebilir şekilde en çoklanması için geliştirme prosedürü ortaya konulmuştur.

1.3 Hipotez

Tez çalışmamız hem iç lojistik hem de aksiyomlarla tasarım konuları ilgili olup iki ayrı literatür taraması birlikte sunulmuştur. Çalışmamız iç lojistik literatüründe düşük bir çalışma oranına sahip olan hücreler arası hareket ile ilgilidir. Yine çalışmamız aksiyomlarla tasarım literatüründe düşük bir çalışma oranına sahip olan diğer konulardan lojistik ile ilgilidir. Çalışmamız her iki literatür geçmişinde de nadir ele alınan konular ile ilgili olduğundan literatüre zenginlik kazandırılmıştır.

Çalışmamızda yapılmış olan tasarım metodolojisi, yalın iç lojistik sisteminin tasarlanması için bilgi ve bağımsızlık aksiyomlarını beraber içermektedir. Bu yönü ile literatürdeki çalışmalardan ayrılmaktadır. Aksiyomlarla tasarım yaklaşımı iç lojistikte çok nadiren kullanılmıştır. İç lojistikte hem bilgi aksiyomunu; bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yöntemlerini içermesi bakımından hem de bağımsızlık aksiyomunu yalın iç lojistik tabanlı sistem tasarımı ve yalın iç lojistik sistemi performans geliştirme prosedürü ile yapılan bir çalışma olması bakımından tez çalışması literatüre çok yeni bir akış açısı kazandırmıştır ve benzer çalışmalardan ayrılmıştır.

YALIN ÜRETİM SİSTEMİ

Bu bölümde yalın düşünceye, yalın üretimin tanımına, yalın üretimin tarihçesine ve yalın lojistik kavramına değinilecektir.

2. 1. Yalın Felsefe

Muda, Japonca'da israf anlamında kullanılır. Özellikle hiçbir değer yaratmadan kaynakları tüketen faaliyetleri gösterir. Toyota yöneticisi Taiichi Ohno'ya göre israflar [1];

- Tekrar işlenmeyi gerektiren kusurlu ürünler,
- Talep dışı üretilen dolayısıyla da depolarda biriken ürünler,
- Gerekli olmayan proses adımları,
- Çalışanların ve ürünlerin gerçekten gerekli olmadığı halde bir yerden başka bir yere hareket etmesi,
- Önceki adımlarda vaktinde tamamlanmayan işlemler nedeniyle sonraki adımlarda boş duran iş görenler,
- Müşterinin taleplerine yönelik olmayan ürün ve hizmetlerdir.

Yalın düşünce, israfı değere dönüştürmeye yönelik çabalara anında geri bildirim sağlayarak, daha tatmin edici iş çıkarılmasına yol gösterir. Yalın düşünce giderek daha az emek, ekipman, zaman gibi üretim faktörü harcanarak daha fazla üretebilmeyi ve müşterilerin asıl beklentilerine daha çok yaklaşmayı hedefler [2].

2. 2. Yalın Üretimin Tanımı

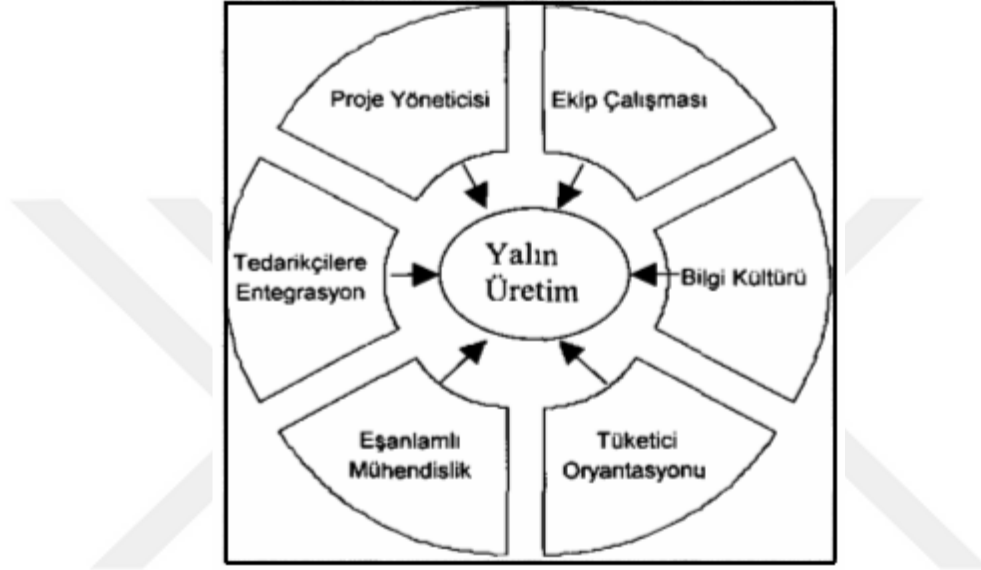
Yalın üretim özünde israflardan arınmayı amaçlayan bir sistem olup bu amaca ulaşmak için bünyesinde bir dizi çözüm yöntemi barındırır. Bu çözüm yöntemlerine daha sonra değinilecektir fakat yalın üretim sistemini değerler ilk hammaddeyi başlatarak değer yaratma süreci boyunca hiç kesintisiz akıtılarak, hızlı bir şekilde son tüketiciye ulaştırılmasıdır. Bunu başarabilmek için tüm değer zincirine bir bütünlük çerçevesinde bakmak, israfları ortadan kaldırmak ve tüm faaliyetleri müşteri için mükemmel değer ortaya koymak amacına yönlendirmek gerekmektedir.

Yalın düşüncenin temel amacı organizasyonlar, teknolojiler ve sabit kıymetler üzerinde odaklanmak yerine, ürüne odaklanarak, kaynakları ürünü etkileyecek çalışmalara kaydırmaktır. Dolayısıyla yalın üretim; bünyesinde hiçbir gereksiz unsur taşımayan ve kusur, stok, işçilik, maliyet, geliştirme süreci, fire, üretim alanı, müşteri memnuniyetsizliği gibi unsurların, en aza indirildiği bir üretim sistemidir [3]. Çizelge 2.1’de yıllar itibarıyla üretim sistemi özellikleri listelenmiş ve değişimin değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Çizelge 2. 1 Üretim sisteminin yıllara göre gösterdiği değişimler

Üretim	Zanaatlar Dönemi (1900+)	Saf Fordizm (1920’ li yıllar)	Fordizm Sonrası (1960’ lı yıllar)	Yalın Üretim (1980+)
İş Standardizasyonu	Düşük	Yüksek, Yöneticiler tarafından	Yüksek, Yöneticiler tarafından	Yüksek, Ekipler tarafından
Kontrol Alanı	Geniş	Dar	Dar	Orta
Stoklar	Büyük	Orta	Büyük	Küçük
Üretim Yapısındaki Gereksiz Unsurlar	Büyük	Büyük	Büyük	Küçük
Onarım Alanları	Küçük	Küçük	Büyük	Çok küçük
Ekip Çalışması	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek

Yalın kelimesi Krafcik (1988) tarafından tamponlu üretim (yani ara stoklar ve tamir bölgeleri vs. içeren) tipine karşılık gelen tamponsuz çalışmayı ifade etmek için kullanılmıştır. Batılı üreticiler savaş sonrası dönemde görünen her şey için tampon yaratmışlardır [4]. Yalın üretim ihtiyaç duyulan stokların yarısından çok daha azının bulundurulmasını gerektirir. Yalın üretim sayesinde çok daha az bozuk ürün çıkar, daha fazla ve gittikçe de artan çeşitlilikte ürünler üretilir [5].



Şekil 2. 1 Yalın üretimin anahtar faktörleri

Şekil 2.1’de yer alan anahtar faktörleri başarılı bir şekilde uygulamayı öngören bu yaklaşım tarzının kökeninde, kalite anlamı ve sistemini değiştiren “Toplam kalite kontrol sistemi” bulunmaktadır. Kalitenin "Kalite kontrol" veya "Kalite güvencesi" gibi tek bir departmanın sorumluluğu olmadığını ve kalitenin, mal ve hizmetler oluşturulurken aşama aşama elde edildiğini benimseyen bu sistem, yalın üretimin esas öğelerinden biridir. Çünkü yalın üretimde hedef, kaliteli mallar üretmek suretiyle ilk anda işi doğru yapmaktır [6].

Yalın üretim sistemi, ürünleri azalan boyutlarda, esnek ekipmanlarla ve kalifiye operatörlerle küçük bir gruptan diğerine hızlı bir şekilde değiştirerek üretir. Böylece süreç içi stok (WIP) minimize edilir. Kısalan üretim döngüsü teslim süresini azaltır. Bunlara ek olarak, daha yüksek verimlilik daha fazla bir pazar payı sağlayacak daha yüksek, rekabetçi bir fiyatlandırma sağlar [7]. Yalın üretimin ‘yalın’ olmasının sebebi seri üretimle kıyaslandığında her şeyin daha azının kullanıldığının görülmesidir (fabrikadaki insan gücünün yarısını, imalat alanının yarısını, araç-gereç yalıtımının yarısını, yeni bir ürünün aynı zamanda geliştirilmesi için gereken mühendislik saatlerinin yarısını vb.).

Yalın üretim “yalın”dır çünkü seri üretim ile karşılaştırıldığında her şeyin daha azını kullanır. Ayrıca ihtiyaç duyulan stokların yarısından çok daha azının bulundurulmasını gerektirir, çok daha az kusurlu mal çıkar ve daha fazla ve gittikçe artan çeşitlilikte ürünler üretilir. Yalın üretim ile geleneksel üretim sistemi arasındaki farklar Çizelge 2. 2’de ve geleneksel ve yalın üretim tarzıyla üretim yapan iki büyük firma için bazı parametrelerin sayısal karşılaştırılması Çizelge 2. 3’de yer almaktadır [8].

Çizelge 2. 2 Geleneksel üretim ile yalın üretimin karşılaştırılması

	Geleneksel Üretim	Yalın Üretim
Planlama	Tahminlere Göre	Müşteri Siparişi
Üretim	Stok	Müşteri Siparişi
Hazırlık Süreleri	Uzun	Kısa
Ürün Grubu Hacmi	Büyük – Kuyruk & Stok	Az – Sürekli Akış
Denetim / Yoklama	Gözlemci / Yönetici	%100 Çalışan / İşçi
İşçi Yetkilendirmesi	Az	Yüksek
Yerleşim Düzeni	Fonksiyonel	Ürün Akışı
Esneklik	Az	Yüksek

Çizelge 2. 3 Geleneksel tarzda ve yalın üretim tarzında üretim yapan iki firmanın karşılaştırması

	General Motors Geleneksel Üretim	Toyota Yalın Üretim
Yer	ABD	Japonya
Otomobil Başına Harcanan Montaj Saati	31	16
100 Otomobildeki Montaj Hata Sayısı	130	45
Otomobil Başına Montaj Alanı	0,75	0,45
Parça Stok (Ortalama)	2 Hafta	2 Saat
Tamir Alanı	%15	Yok
Devamsızlık	%15	Yok

Yalın üretimin sayısal birtakım avantajlarının olmasının yanı sıra işgörenler üzerinde de olumlu etkileri vardır. Çalışanlar seri üretim yapan firmalarda kendilerini sadece iş gören olarak

hissederken, yalın üretim uygulayan firmalarda sorumluluk ile birlikte karar verme yetilerini de kullanabilmektedirler. Sonuç olarak müşterilerinin beklentilerini daha düşük maliyet ve daha yüksek kalite ile karşılayarak hem rekabet edebilmekte hem de kârlılıklarını arttırabilmektedirler [9].

Yalın üretim her alanda sıfır stok politikasını benimsemektedir. Üretim alanında ürün ve parça stoklarının sıfır düzeyinde gerçekleşmesi, yalın üretimin en önemli unsurlarındandır. Hatta bazı araştırmacılar yalın üretim veya Toyota üretim sistemi yerine “stoksuz üretim” ifadesini kullanmaktadır. Japon araştırmacı Shigeo Shingo’nun sözleriyle, “stok, üretimdeki bütün kötülüklerin kaynağıdır” [10].

Yalın üretimde israfları ortadan kaldırabilmek için iki hedef üzerine odaklanılır. Bunlar, sıfır stok ve sıfır hatadır. Bu israfların sıfırlanması mümkün olmamakla birlikte ancak azaltılması halinde maliyetler azaltılabilmektedir [11].

Stokların başlıca zararları aşağıdaki gibi özetlenebilir [12]:

- Stok maliyetleri ürün maliyetlerine yansır.
- Değişikliklerin yönetimi zorlaşır.
- Yüksek stoklar gerçek problemleri saklar.
- Kalitenin izlenmesi ve kontrolü zorlaşır.
- Görsel yönetim zorlaşır.
- Dengesiz iş yükleri oluşur.
- Beklemeler artar.
- Yönetim tüm zamanını gündelik ve acil durumlarla uğraşmakla geçirir.
- Müşteri isteklerinin çok değişken olduğu ortamlarda, ani talep değişikliklerine, maliyetlerden veya rekabet gücünden taviz vermeden, hızlı bir şekilde cevap vermek güçleşir.

2. 3. Yalın Üretimin Tarihi

Günümüzde “Yalın Üretim” diye adlandırdığımız üretim ve yönetim sisteminin temelleri 1950’lerde Toyoda ailesinin bireylerinden mühendis Eiji Toyoda ve Taiichi Ohno’nun öncülüğünde, Japon Toyota firmasında atılmıştır. Bu ikili, Eiji Toyoda’nın 1950’de Ford firmasını incelemek üzere Amerika’ya yaptığı gezisinde edindiği bilgilerin de ışığında, Ford’un yüzyılın başlarından itibaren öncülük ettiği “kitle üretim” sisteminin Japonya için hiç de uygun

olmadığına kanaat getirirler ve bu karar yepyeni bir üretim ve yönetim anlayışının ortaya çıkmasına sebep olur.

Taiichi Ohno, 1950’de Ford’un Detroit’teki Rouge fabrikasını ziyaret ettiğinde, hem fabrikanın Japonya’nın sıkışık ortamında asla sağlanamayacak olan büyüklüğü, hem de zararının boyutları karşısında hayrete düştü. 1980’lerde bile, otomobil fabrikaları, fabrika alanının %20 sini ve çalışma saatlerinin %25’ini hataları düzeltmeye ayıran eski üretim sisteminde çalışıyorlardı. Ohno montaj işçilerinin, hatalarını bulmak ve düzeltmekle sorumlu uzmanlardan çok daha alt konumda olduklarını fark etti.

İkilinin saptamaları şu şekildedir: Kitle üretiminde, her üretim faktörü ya da unsuru olabildiğince çok sayıda, fazlaca kullanılıp, üretim birçok dengesizlik ya da israf içermektedir. İsrafin kaynağı, sistemin aşırı bir iş bölümüne dayanması yani gerek makinalar gerekse işçilerin, çoğu kez sadece tek bir ürün için tek bir operasyon gerçekleştirecek şekilde organize edilmeleri, tek bir işe/operasyona “adanmış” olmalarıdır. Hatta makineler özellikle bu tür bir adanmışlık sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır. Kitle üretiminin bu yaklaşımı, bir yandan üretim faktörlerinin gereksiz yere “kitlesele” boyutta, gereksiz yere kullanılmalarına yol açmakta; bir yandan da çok büyük fabrika mekânlarında, binlerce iş gören ve pahalı makine, aynı işlemi aylarca, hatta yıllarca sürdürmektedir. Öte yandan aynı yaklaşım, üretime aşırı bir katılık ve hiyerarşi getirip, üretimde esnekliği engellemektedir. Kitle üretiminde iş görenler birer “kol gücü” olarak algılanıp, beyin güçleri üretimin iyileştirmesine kanallize edilmemekte ve en kötüsü, birer “değişken maliyet” olarak görülüp, işlerin kötü gittiği dönemlerde rahatlıkla işten çıkarılabilmektedirler.

İkilinin gözlemlediği diğer bir önemli nokta da şudur: Üretimdeki aşırı “adanmışlık” ve esneksizliğin doğal bir sonucu olarak, kalıp değiştirme ya da bir üründen diğerine geçebilme için gerekli ayarlamalar çok uzun süre almakta, dolayısıyla büyük “lot” üretim zorunluluğu doğmaktadır. Büyük “lot” üretimin en önemli yan etkisi ise, işlenmekte olan ürün stokunun çok yüksek düzeylere çıkmasıdır. Ford’da tek bir üretim bandında belli bir süre boyunca bir tek ürün/ara ürün, örneğin 500.000 adet sağ kapı paneli basılıp, bu ürünler/ara ürünler son montaj için gerekli olana kadar stokta bekletilmekteydi. Yüksek stok hem önemli bir maliyet kaynağı olduğu gibi üretime bir tür “rehavet” de getirmekte ve üretimde “kalite” nin mutlaka yüzde yüz sağlanması gereken bir olgu olarak görülmemesine neden olmaktadır. Bu rehavetin sebebi, ıskarta durumunda, yedekteki stoktan takviye etme şansının olmasıdır. Oysa ıskarta ve akabinde gelen “onarım” bir yandan maliyetleri yükseltmekte, diğer yandan da müşteri memnuniyetsizliğine ve güvensizliğine yol açmakta, işletmenin itibarına zarar vermektedir.

Toyoda ve Ohno'nun gözünde, kitle üretiminde, bir ana sanayi firmasının yan sanayileri ile olan ilişkilerinde de fabrika-içi üretimde gözlemledikleri aynı israflar ve hiyerarşik yapı söz konusudur. Amerika'da yan sanayiye açılma ikinci Dünya Savaşı sonrasına rastlar, ancak yan sanayinin yaratıcı potansiyellerinden minimal düzeyde bile yararlanılamamakta ve kendilerinden sadece spesifikasyonlara uygun üretim yapmaları beklenmektedir. Yan sanayilerle yapılan sözleşmeler kısa vadeyi kapsamakta ve işlerin iyi gitmediği dönemlerde sözleşmeler aniden feshedilmektedir.

Yan sanayi firmaları da iş gören kitlesi gibi birer “değişken maliyet” olarak algılanmaktadır ve yan sanayilerle ilişkiler, “fiyatın” temel alındığı bir “pazarlık” sistemine oturtulmuştur. Bu durum, yan sanayileri birbirlerine karşı “fiyat savaşı” vermeye zorlamaktaydı.

Toyota dehaları, sistemin tamamını incelemeleri sonucu şu yargıya varırlar: Kitle üretim sistemi, esneklikten yoksundur; katı bir hiyerarşiye dayanmaktadır ve “kitlesellik”, israf içermektedir. 1950'lerde Amerika böylesi bir tablo çizerken, aynı yılların Japonya'sı çok farklı bir durum sergilemektedir. Toyoda ve Ohno'nun kitle üretim sistemine eleştirici bir gözle yaklaşımlarının en büyük nedeni de, Japonya'nın kendi koşullarıdır. Japon pazarı çok daha küçük bir pazardır; kişi başı milli gelir oldukça düşüktür ve sermaye birikimi yetersizdir. Pazarın daha küçük olmasına rağmen, tek tip değil, farklı tip araçlara talep vardır ve rekabet Amerika'ya göre çok daha yüksektir: 1950'lerde Japonya'da aynı pazar diliminde rekabet eden toplam 12 otomobil üreticisi bulunuyordu. Bu koşullarda, Japon üreticileri için, “adanmış” işçi ve makineler topluluğu ile kısıtlı tipte araçtan yılda milyonlarca üretmek söz konusu olamazdı [13].

Bunun tersine, 1950'ler Japonya'sında üreticilerin amacı, aynı anda farklı tip araçları, çok düşük sayılarda üretilip, buna rağmen düşük maliyetler elde etmek; üretim adetlerindeki sınırlılık ve sermaye birikiminin yetersiz oluşu dolayısıyla, çok daha az sayıdaki üretim faktörünü esnek ve etkin kullanmanın yollarını bulmaktır. Üretimi, maliyeti arttırıcı tüm etkenlerden, tüm gereksizliklerden arındırmak ana amaçtır. Üstelik Japonya'da 1950'lerde getirilen yeni yasalarla, gerek işçi sınıfı gerek yan sanayiler, önemli bir pazarlık gücü elde etmişlerdir ve Amerika'daki gibi istenildiği zaman işten çıkarılacak, ya da sözleşmesi feshedilecek birer “değişken maliyet” olarak algılanmamaktadır.

İşte tüm bu koşullar ve zorunluluklardan dolayı başta Toyota'nın dehaları Toyoda ve fakat özellikle Ohno'nun öncülüğünde, adım adım ilerlenip, üretim adeta bir mikroskop altına yatırılıp titizlikle incelenerek ve geliştirilerek, bugün “yalın üretim” diye tanımladığımız sistemin ortaya çıkması ve kısa sürede tüm Japon ekonomisine yayılması sonucunu vermiştir. Ohno çok sayıda çeşitten az miktarlarda üretebilecek şekilde hem mudalardan arınmış

yalınlıkta, hem de yavaş büyüyen bir ekonomideki düşük talepleri karşılayabilecek esneklikte bir üretim sistemi geliştirilmiştir [14].

Taiichi Ohno, Japonya'ya dönüşünde kendi işçilerini gruplar halinde örgütledi, yavaş yavaş montaj işçilerine araç gereç onarımı ve kalite kontrol gibi ek görevler vermeye başladı. Asıl vurgulanan takım çalışmasıydı. Amerikan fabrikalarında yalnızca ustabaşı, bandı durduran kolu çekebiliyor; sonra uzmanlar gelip günler önce yapılan hataları düzeltiyorlardı. Ohno, Toyota fabrikalarında her işçinin bandı durdurabilmesine karar verdi. Hataların önlenmesine ve sorunların üretimin ilk aşamalarından itibaren çözülmesine verilen bu önem, sonuçta görülmemiş oranda kapasite ve kalite artışı sağladı.

Sonuçta yalın üretim, Batı'da 1900'lerin başlarından beri hâkim olmuş olan kitle üretimi yaklaşımını bertaraf eden ve bir anlamda her şeye alışılmışın tam tersi yönünde yaklaşan, radikal bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. Genel geçer kabul edilmiş tüm kural ve ilkeleri sorgulayan, hiçbir yerleşik kanıyı mutlak görmeyen şüpheli bir yaklaşımın, ya da felsefenin ürünü olarak doğmuş ve gelişmiştir.

Toyota Üretim Sistemi bugün tüm dünyada başarısı kanıtlamış bir sistemdir. Sistemin Japonya dışında kültürlerdeki uygulamaları da ilgiyle takip edilmekte ve bu konuyla ilgili sayısız akademik çalışma yapılmaktadır. Ancak başta, diğer işletmeler bu sistemle pek ilgili görünmüyordu. Gözlerin Japonya'ya çevrilmesi 1974'deki petrol kriziyle başladı. Dünya, Toyota'da olan bitene petrol krizi sonrasında ilgi göstermeye başladı.

Toyota, Batı'daki en büyük rakiplerinden on kat daha az işçisi olmasına rağmen, 1980'li yılların başında piyasaya sürdüğü 3,5 milyon otomobille dünya otomobil üreticileri arasında bir anda ikinci sıraya yerleşti. Bu aynı zamanda Japon otomobil endüstrisinin Amerikan otomobil endüstrisini geçtiği tarihi bir andı (11 milyona karşı 8 milyon) ve bu başarıya en büyük katkıyı sağlayan şirket Toyota idi.

Bu başarının temelinde pek çok etken yatmaktadır. Toyota geliştirdiği üretim sistemiyle stokları çok düşük düzeylere çekebilmiş, hata oranını rakiplerinkinden çok daha aşağılara indirebilmiştir. Bu gelişim ile başlangıçta 8 saati bulan kalıp değiştirme süreleri 3 dakikaya indirebilmiştir. Toyota, uyguladığı farklı üretim modeli ile bir işçinin üretkenliğini; 1950'de yılda 2 otomobilden 1960'da 14,8'e; 1970'de 19,4'e ve 1982 yılında ise 56 otomobile çıkartmayı başarmıştır.

Bütün bunlar büyük ölçüde Taiichi Ohno'nun aklından ve felsefesinden çıkan bir dizi "üretici fikrin" sonucudur. Ohno, özellikle üretim sisteminde karşılaşılan ve ürüne değer katmayan tüm faaliyetleri, yani israfları yok etmek için giriştiği kararlı çalışma ve araştırmalarla bu başarının mimarı olmuştur.

Toyota bugün kendi montaj zincirinden yılda ortalama 32 bin farklı modelde otomobil çıkarıyor. Bir ayda, birbirinin aynı olan yalnızca 11 araç piyasaya sürülüyor. Müşterilerin herhangi bir Toyota satıcısına başvurarak tamamen kendi istekleri doğrultusunda, tarifini verdiği ürünün fabrikadan çıkarak müşteriye sunulması 12 günü geçmiyor. Yeni bir modelin projelendirilmesi Batılı üreticilerde 4 yılı bulurken Toyota’da bu süre yaklaşık 2 yıldır. Toyota, yılda 4 milyonu aşan otomobil satışıyla bugün dünyanın en büyük otomobil üreticilerinden biridir. Ancak Toyota, bir otomobil devi olmasından çok, Japon modeli “Toyota Üretim Sisteminin” doğduğu, geliştiği ve dünyaya yayıldığı şirket olarak ayrıcalık kazanmıştır [13].

Toyota’nın başarısını anlamak için, esneklik ve yaratıcılığı olası kılan en önemli şeyin “kesin tarifler” olduğunun anlaşılması gerekmektedir. Toyota bir standart tanımladığı zaman, hepsi denenebilir olan bir dizi hipotez yaratmaktadır. Başka bir deyişle, bilimsel yöntem takip edilmektedir. Değişiklikleri yapmak için, Toyota mevcut durumun detaylı bir değerlendirmesini gerektiren titiz bir problem çözüm tekniği ve öngörülen değişikliklerin deneysel bir sınaması olan bir iyileştirme planı uygulanmaktadır.

2. 4. Yalın Üretim Teknikleri

Yalın üretim özünde barındırdığı israflardan arınmaya bünyesinde barındırdığı şu teknikler ile ulaşmaya çalışır.

1. Tek Parça Akışı
2. U Hatları, İş İstasyonu
3. Hazırlık Sürelerinin Düşürülmesi (SMED)
4. Kanban Sistemi
5. Üretimde Düzenlilik ve Karma Modelli Çizelgeleme
6. Toplam İş Denetimi
7. Sıfır Hata
8. Toplam Üretken Bakım
9. Sürekli İyileştirme
10. Tam Zamanında Üretim (JIT)
11. Toplam Kalite Yönetimi
12. Otonomasyon (Jidoka)
13. 5S (Ayıklama, Düzenleme, Temizlik, Standartlaşma, Eğitim-Disiplin)
14. Kalite Çemberleri

2. 4. 1. Tek Parça Akışı

Herhangi bir günde hattan çıkacak ürünlerin tüm parçalarının da ilke olarak o gün içinde üretilmesi, tüm üretim birimlerinin kanban ve üretimde düzenlilik ilkesine göre mümkün olan en küçük partilerle çalışabilmeleri, tahmin edileceği gibi bazı ön koşullara bağlıdır. Her şeyden önce, üretkenliğin çok yüksek, üretim zamanlarının çok kısa olması, üretim akışı içinde gerek işçilerin gerek de bitmiş ve işlenmekte olan parçaların beklemeye hiçbir vakit kaybetmemeleri gerekir. İşlenmekte olan parçaların beklemesi demek, bir parçanın bir işlenme aşamasından diğerine hemen geçmemesi demektir, stoklu çalışmada işler zorunlu olarak bu şekilde yürümektedir.

Yalın üretimin bu zaman harcamasına bulduğu çözümlerden biri de, herhangi bir iş istasyonu içinde bir parçanın nihai haline kavuşması için gereken bütün makinelerin, parçaların işlenme akışına dayanarak birbiri ardı sıra yerleştirilmeleri ve parçanın bir önceki süreç için gereken makineden bir sonraki süreçte kullanılacak makineye hiç beklemeden geçmesi şeklindedir. Makinelerin bu şekilde yerleştirilmelerine süreç-bazlı yerleşim ve parçaların süreçler arasında beklemeden teker teker aktarılmasına da tek-parça akışı denilmektedir. Tek-parça akışını; süreçler, makineler arası aktarma partisinin bir âdete indirilmesi ya da hat ile makine arası stoğun sıfırlanması olarak da tanımlayabiliriz [13].

2.4.2. U Hatları, İş İstasyonu

İşçilerin bir yerden bir yere gitmesi, makinelerin çalışmasını kontrol etmesi ya da makine başında makinelerinin devrinin bitmesinin beklenmesi gibi ürüne hiçbir değer katmayan eylemler zaman kaybına ve israfa neden olmaktadır.

Taiichi Ohno sisteminin temel mantığı, makinaların doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü, makinaya parçayı yerleştirme, işlenmiş parçayı alma gibi eylemleri mekanikleştirerek ve otomatikleştirerek, kazanılan zamanı her işçinin birden fazla makinayı çalıştırması şeklinde değerlendirmektir.

Böylece bir yandan aynı işi çok daha az sayıda işçiyle gerçekleştirmek mümkün olmakta, diğer yandan da talep yükselme/düşme durumlarında sadece işçi sayısı ile oynayarak üretim verimini talepteki esnekliğe adapte etme olanağı elde edilmektedir.

Taiichi Ohno'nun bir işçinin birden fazla makinadan sorumlu olma ilkesi, tek parça akışı ve süreç bazlı hat anlayışıyla da birleşince ortaya çıkan yerleşim düzeni U-hatları olmuştur.

U-hatlarında, makinaları u şeklindeki hat üzerinde üretim operasyonlarını yerine getirme sırasıyla düzenler. İş görenler u hattının içinde çalışırlar. Bir işgören hattın giriş ve çıkışının her

ikisini de denetler. Makine işi iş görenin işinden ayrılmıştır bu nedenle makinalar mümkün olduğu kadar bağımsız çalışır. Standart operasyon tabloları bütün işlerin nasıl yapıldığını tam olarak belirtir.

İş rotasyonu ile iş hatları ve Shojinko'nun (talepteki esnekliğe makina adetlerinde değişiklik yapmadan işçi sayısında ayarlamalarla uyum sağlayabilir hale getirilmesi) verimli kullanılması mümkün olmaktadır. İş rotasyonu sayesinde yüksek becerilere sahip olan işçiye herhangi bir makinanın sorumluluğu verildiğinde işçi başarılı olmaktadır (Akçagün, 2006).

2.4.3. Hazırlık Sürelerinin Düşürülmesi (SMED)

Makinalarda bir kalıptan diğer bir kalıba hatasız ürün elde edecek şekilde geçme süresinin uzun oluşu kitle üretim sisteminde stoklu çalışmaya birinci sırada gösterilen gerekçedir. Set-up süresinin artışı makinanın verimli olarak kullanılabilmesi için aynı parçadan büyük miktarda üretilmesi sonucunu doğurmaktadır.

1950'lerde Toyota'da stoksuz üretim için kalıp değiştirme süresinin azaltılması bir ön şart olarak görülmüş, şaşırtıcı biçimde kalıp değiştirme zamanı üç dakikaya indirilmişti. Böylece küçük miktarlarda pres basımları yapıldığı taktirde büyük miktarlar basmaya göre parça maliyeti daha düşük olmaktaydı. Küçük miktarlarda üretim yapmak seri üretim sistemlerinin gerektirdiği muazzam miktarlarda bitmiş parça stok taşıma maliyetini ortadan kaldırmaktaydı ve pres baskı hatalarının anında ortaya çıkmasını sağlamaktadır [13].

Hazırlık Süresini Neden Kısaltıyoruz [15]?

- Kalitenin geliştirilmesine öncülük eder.
- Ekipman kullanılabilirlik oranını yükselterek kapasite artırımını sağlar.
- Esnek üretim ve teslimatın zamanında yapılmasına olanak verir.
- Daha küçük parti büyüklükleri ile çalışmamız mümkün olur.
- Stoklarımızı azaltabiliriz.
- Tasarım geliştirmelerini teşvik eder.

2.4.4. Kanban Sistemi

Yalın üretim sisteminde, her üretim istasyonunun kendisinden bir sonraki istasyonun hemen işleme geçebileceği miktarda parçayı tam zamanında üretmesi prensibiyle, tüm üretim aşamalarının ya da istasyonlarının gereksiz üretim yapmalarının önlenmesi hedeflenmektedir.

Üretimin ilk istasyondan son montaja doğru bir akış olarak algılandığı kitle üretim sisteminde, bir önceki istasyon bir sonraki istasyona işleyeceği malları iter. Yalın üretim sisteminde ise tam tersi bir yaklaşımla üretim süreci son istasyondan ilk istasyona bir akış olarak düşünülmekte,

hiçbir istasyonun gereğinden fazla üretim yapmaması için bir önceki aşamada neyin, ne miktarda işleneceğine bir sonraki aşamada karar verilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde üretim akışı çekme sistemi olarak tanımlanmaktadır.

Çekme sistemi tümüyle bir sonraki üretim aşamasındaki bir işçinin bir önceki aşamaya gidip kendi üretim istasyonu için o an gerekecek miktarda parçayı çekmesi ilkesine dayanır. Onun bu parçaları çekmesi bir yandan bir önceki istasyon için yeni üretime başla sinyalidir, öte yandan da yeni üretimin ne miktar ve çeşitlilikte olacağını belirtir. Bir önceki aşamada ancak çekilen miktar ve çeşitlilikte parça üretilecektir. Çekme olayı son montaj hattında başlar ve parçalar montaj hattından başlayarak atölyeden atölyeye ya da yan sanayiden ana sanayi fabrikasına doğru çekilirler.

Kanban, yalın üretimde gerek fabrika içi işleyişte gerekse yan sanayilerle olan ilişkilerde çekiş işini senkronize etmek için kullanılan bilgi kartlarıdır. Sistemin herhangi bir aşamasında üretilecek her parçanın bir kanban kartı vardır.

Ana sanayi ve yan sanayiler arasında yatay ve dikey yönde bilgi akışını gerçekleştiren kanban kartlarında sevkiyat siparişi, nakliye siparişi ve üretim siparişi bilgileri bulunmaktadır.

Kanban ile düzenlenip yönetilen üretim sürecinde depolar ortadan kalkmakta, dolayısıyla işgücü, emek ve yönetici tasarrufu sağlanmaktadır.

Kanbanın kullanılmasıyla kayıpların ne zaman ve nerede ortaya çıktığı açıkça belirlenir, bunun sonucunda da kayıplar incelenir, araştırılır ve düzeltme yolları aranır. Üretim tesisinde kanban, harcanan emeği azaltmanın, depo sayısını azaltmanın, hatalı ürünleri ortadan kaldırmanın, ayrıca arıza ve kesintilerin tekrarlanmasını önlemenin temel ögesi haline gelir [13].

Üretimde esneklik kanban ile sağlanmış olur. Montaj hattında bir gecikme ya da durma durumunda önceki atölyelerden parça çekilmeyeceği için bu durum diğer atölyelerin üretimlerine de yansır. Talebin artması ya da azalması durumunda kanbanların atölyeler arasındaki ya da fabrika ile yan sanayiler arasındaki devir hızının son montaj hattından başlayarak ayarlanması yoluyla, tüm atölyeler ve yan sanayiler üretimleri artırabilir ya da yavaşlatabilir.

Uzmanlara göre ne kadar gelişmiş olursa olsun bir bilgisayar sistemi üretim bölümleri arası haberleşmeyi bu dakiklik ve esneklikle gerçekleştirmez. Kanban sistemi hemen hiçbir yatırım gerektirmeden bu karmaşık üretim ağını ve atölyeler arası senkronizasyonu son derece etkin sağlamaktadır [14].

Toyota üretim sisteminin alt sistemlerinden biri olan kanban; bileşenlerin üretimini ve tedarikini hatta bazı durumlarda ham maddelerin stok seviyelerini kontrol etmek için yaratılmıştır [16].

Kanbanın kurallarından bazıları şunlardır [17];

- Önceki süreç gelen kanbanların sırasına ve kanban sayısına göre üretim yapar.
- Hiçbir malzeme kanbanı olmadan taşınmaz veya üretilmez.
- Kanban adedinin düşürülmesi duyarlılığı artırır.
- Kanban her zaman ürünlerle beraber hareket eder.
- Hatalı ürünler hiçbir zaman bir sonraki sürece gönderilmez, böylece %100 hatasız ürünler üretimde olur.
- Sonraki süreç bir önceki süreçten kanbanda belirtildiği kadar ürün alır.

2.4.5. Üretimde Düzenlilik ve Karma Modelli Çizelgeleme

Değişik modelleri ya da ürünleri ardı ardına monte etmek olarak tanımlanabilecek olan karma yüklemenin en önemli işlevleri üretimin talep değişikliklerine hesapta olmayan bitmiş veya işlenmekte olan ürün stoğu ile karşılanmaksızın adapte olmasını ve aynı hatta birden fazla model veya ürünün monte edilmesini sağlamaktır. Ve ürünlerin bayilere ve müşterilere istenen sipariş bileşimine erişildikten sonra sevk edilmelerini sağlayarak üreticileri gereksiz stok alanları bulundurma zorunluluğundan kurtarmaktır. Karma yükleme düzeni müşteri talep miktarı ve bileşimine göre belirlenir ve Heijunka yönetim aracı ile yapılır.

2.4.5.1. Üretimde Düzgünleştirme

Türkçeye “düzgün üretim” veya “dengelenmiş üretim” şeklinde aktarabileceğimiz Üretimde düzgünleştirme, en tepeden en alta kadar “kendi işini kendin planla ve üretimi dengele” nin ifadesidir. Üretimde düzgünleştirme tüm üretim kaynaklarının ve müşteri talebinin ürün çeşidine ve hacmine bağlı olarak planlamasını içerir. Ürün çeşitliliğinin az olduğu durumlarda böyle bir düzgünleştirmeye gitmek mantıklı değildir.

2.4.5.2. Üretimde Düzgünleştirme Kutusu

Düzgünleştirme kutusu belirli bir zaman aralığı için ürün hacmi ve çeşidini seviyelendirmeye yardımcı olan fiziksel bir yönetim aracıdır. Yükleme, insan ve makine gücünü en etkin şekilde kullanarak düzgünleştirilir. Sevkiyat ve daha önceki işlemlerin çekme aralıklarına göre kanban kartları kullanılır.

2.4.6. Toplam İş Denetimi

Yüksek kaliteli makinaların kapasitelerinin düşük kapasiteli makinalara yaklaştırılarak senkronize üretim yapılmasına toplam iş denetimi denilmektedir.

Süreç bazlı hatların etkin çalışabilmesi, aynı hattı oluşturan makina kapasitelerinin yani bir işlemi tamamlamak için gereken sürelerin denkleştirilebilmesine bağlıdır. Üretimin tek parça akışı içinde gerçekleştirilebilmesi bütün makinaların aynı zaman dilimi içinde, aynı hacimde

parça işlemleri sağlanarak çözülmüştür. Makinaların bu senkronizasyonu, kapasitesi yüksek olan makinalara belirli bir miktar parçayı işledikten sonra kendi kendisini otomatik olarak durduran bir limit anahtarı yerleştirilerek yapılabilir (Akçagün, 2006).

Toplam iş denetiminde bazı makinaların tam kapasite çalışmalarına karşın bekleme süreleri sıfırlanarak stoklar elimine edilmektedir ve israf önlenmektedir. Senkronizasyon sadece atölye içindeki süreç bazlı hatlarda değil atölyeler arasında da uygulanmaktadır.

2.4.7. Sıfır Hata

Yalın üretim yaklaşımında üretimde kalitesizliğin bir maliyeti vardır. Eğer firma ürünlerin istenen kalitede üretilmesini garanti edemiyorsa, herhangi bir değer katmayan ve işgücü maliyetini artırıcı bir unsur olan kalite kontrol faaliyeti içinde bulunmak zorunda kalır. Bazı hatalı ürünlerin onarılması işgücü ve amortisman maliyetini arttıran bir faktördür. Üretilen pek çok ürünün ya da parçanın kalitesiz olduğu için ıskarta edilmesi işgücü ve makine zamanını israf etmek anlamına gelecektir ve maliyeti artırıcı bir unsur olacaktır. %100 kalitesinden emin olunmayan ürünlerin müşteriye ulaşması durumunda kullanımda oluşacak arızalar sorun yaratacaktır.

JIT üretim prensibiyle kalite düzeyinin yükseltilmesi zorunluluk olmaktadır. Stoksuz üretim prensibiyle gerçekleştirecek üretim sürecinde oluşabilecek ıskarta üretimin tamamen durması anlamına gelecektir.

Yalın üretim sistemini uygulamayan birçok firmada %1-5 arası ıskarta oranı normal bir seviye olarak ele alınırken yalın üretim sisteminde en düşük hedef ıskarta oranının milyonda birler seviyesine indirilmesidir. Ancak asıl hedef sıfır hata noktasına ulaşılmasıdır.

2.4.8. Toplam Üretken Bakım

Toplam üretken bakım, bir fabrikada kullanılan ekipmanın verimliliğini ya da etkinliğini artırmak ve olası makine hatalarından kaynaklanacak ıskartaları önlemek amacıyla gerçekleştirilen tüm çalışmaları kapsayan bir terimdir. TPM'nin geniş anlamda deney tasarımı ve Poka Yoke'ye destek veren yardımcı kalite tekniği olduğu söylenebilir [13].

TPM, işletmede üst yönetimden başlayan bir TPM politikası oluşturulmasına ve fabrika zemininde oluşturulacak küçük işçi ekipleri aracılığıyla hayata geçirilmesine dayanır. TPM'nin çekirdek birimleri olan ekipler yaptıkları tüm çalışmalara asıl görevlerinin problem çözme olduğu bilinciyle yaklaşır. TPM ekipleri yaptıkları işlerde problem arar, saptar ve çözüm üretirler.

TPM kavramındaki toplam sözcüğünün üç anlamı vardır:

- Kullanılan ekipmanın verimliliğini artırıcı çalışmanın ekipmanın toplam ömrü boyunca sürdürülmesi,

- Ekipmanın çalışmadan beklemesine neden olan tüm etkenlerin kontrol altına alınması,
- Firmada verimi artırma çalışmalarına görev yapan tüm personelin katılması

İşlenmekte olan ürün stoğu tutulmayan U hatlarının oluşturulması için TPM önemli rol oynamaktadır. Çünkü herhangi bir makinanın bozulması tüm hatların üretimini sekteye uğratabilir.

2.4.9. Sürekli İyileştirme

Yalın üretim ulaşılmış olan uygulama düzeyinin en iyi uygulama düzeyi olarak kabul edildiği durağan bir sistem olmayıp sürekli iyileştirmenin temel prensip olarak kabul edildiği bir felsefedir. Yalın üretimi benimsemiş firmalar üretimde sürekli iyileştirmeyi prensip olarak kabul ederler.

Japonca bir sözcük olan kaizenin anlamı daha iyiye doğru bir değişim demektir. Kaizen sürece yönelik, küçük adımlı, insana dayanan bilgiyi paylaşan sürekli iyiyi arama çabasıdır. Kaizenin baş sloganı “en iyi, iynin düşmanıdır” olarak özetlenebilir [14].

Sorunu kökten çözenin prensip olduğu kaizen uygulamalarının ön koşulu sorunları saklamamaktır. Ömür boyu iş garantisi altında çalışan tüm işçilerin sürekli iyileştirme çalışmalarına takım çalışması anlayışı içinde katılmasına imkân veren ve tüm çalışanların yaratıcı potansiyellerine saygı duyan bir sistem olan kaizende çalışanların potansiyellerinden yararlanılması kalite çemberleri ile sağlanır.

Kaizen yalın üretim sistemini kurmak için aynı zamanda bir araçtır. Formüle ederek tanımlarsak: Kai (Değişim) + Zen (Daha İyi) = Kaizen (Daha iyiye doğru değişim) Kaizen yöneticilerden işçilere herkesi içeren sürekli iyileştirmedir. Japonların geliştirdiği birçok yönetim uygulaması kısaca literatürde Kaizen şemsiyesi olarak da ele alınan bir başlık altında toplanabilir. Özellikle II. Dünya savaşıdan sonra Japonya’da başlayan yeniden yapılanma sürecinde birçok şirket yeni yönetim uygulamaları arayışına girdiler. Tüm bu şirketlerin varlıklarını sürdürebilmeleri için her alanda sürekli ilerleme sağlamaları, karlılıklarını ve verimliliklerini korumaları gerekmektedir. Bunun bilincinde olan Japon şirketleri şirket kültürleri içerisinde iyileştirmenin sürekli olması gerektiğini, normal yaşamlarında da kullandıkları, kaizen felsefesini şirket içinde de uygulamaya başladılar. Kaizen şemsiyesi Çizelge 2.4’de [18] gösterilmiştir.

Çizelge 2. 4 Kaizen şemsiyesi

Müşteri Yönetimi	Kanban
Toplam Kalite Kontrol	Kalite İyileştirmesi
Robot Kullanımı	Tam Zamanında Üretim
KK Çemberleri	Sıfır Hata
Öneri Sistemi	Küçük Grup Faaliyetleri
Otonomasyon	İşçi – Yönetim İşbirliği
İş Yerinde Disiplin	Verimlilik İyileştirme
Toplam Verimli Bakım	Yeni Ürün Geliştirilmesi

Şirket içinde kaizen kavramının gelişmesinde 1960’larda WE Deming ve J.M. Juran gibi uzmanların Japonlara tanıttığı şirket içi uygulamaya yardımcı olacak birçok kalite aracı ile kavram gelişmeye başladı [13].

Kaizen Shiego Shingo’nun da belirttiği gibi hiçbir işlemin son halini almadığı, daha da mükemmelinin arandığı “kuru havludan bile su çıkarılabilir” anlayışının bir sonucudur.

Kaizen felsefesi bir problem çözme tekniği olduğu kadar aslında problemlerin ortaya çıkarılmasında da önemli bir role sahip bir tekniktir. Problem ortaya çıkmadığında gerçek anlamda bir iyileştirmeden de söz edilemeyeceği açıktır. Problemler çözüldükçe iyileştirmede de bir adım daha ileri gidilmiş olacaktır. Önemli olan kaizen felsefesinin altında yatan mevcut durumla yetinmeme prensibini uygulamaktır.

Kaizen felsefesini şirket içi uygulamasında 5 temel nokta:

- Problemin saptanması,
- Problemin incelenmesi,
- Fikir üretme,
- Değerlendirme,
- Uygulamaya geçilmesi, olarak özetlenebilir.

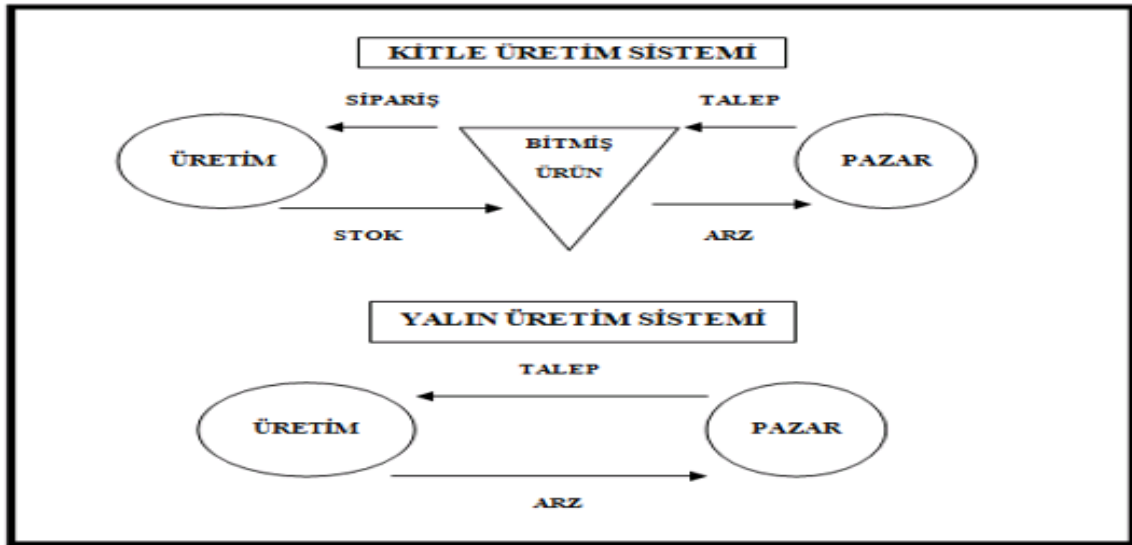
2. 4. 10. Tam Zamanında Üretim (Just in Time – JIT)

Tam zamanında üretim (TZÜ), Japon otomobil endüstrisinde uygulanan birçok uygulamadan geliştirilmiştir. Çok basitçe, bir envanter politikası şeklinde tanımlanabilir. Japon Kanban sistemi üzerine yapılandırılmıştır. Parçaların sipariş verilmesi ve takibi Kanban sistemiyle sağlanır. Fazla envanter; fazla kapasite, fazla zaman vb. kaynakların israfıdır. TZÜ bu israfları azaltmaya odaklanarak sistemi sürekli olarak geliştiren bir yöntemdir. İsraf edilen kaynakları

ortaya çıkarmak israfları yok etmeye teşvik edecektir. TZÜ ve TKY beraber ele alındığında iyi çalışmakta ve birisi olmadan diğeri uygulanması başarıyı getirememektedir [19].

Çekme sistemi olarak da adlandırılan tam zamanında üretim (JIT), bir üretim prosesinde ihtiyaç olduğu anda üretimin gerçekleşmesine dayalı bir felsefedir. Japonlar tarafından önerilen JIT sisteminde, üretimin her aşamasındaki aşırı stokları önlemek amacıyla bir sonraki üretim aşamasında yarı ürünlerin işlenmeye başladığı an gerekli olan ara ürün bir önceki üretim aşamasından talep edilir ya da çekilir. Böylece her aşama bir sonraki aşamanın ihtiyacı olan talebi karşılamak için tam zamanında üretim yapar [20].

Stoklar ortadan kalktığı ve problem çözüldüğü zaman şu gerçekleşecektir; Bitmiş ürünler tam satılacağı zaman üretilip teslim edilecek, alt parçalar tam zamanında bir üst ürüne monte edilecek, işletmede üretilen parçalar tam zamanında alt montajlara gidecek ve satın alınan parçalar tam zamanında atölyede işlenen parçalara çevrilecektir [21]. İdeal bir tam zamanında üretim sistemine Şekil 2.2’de yer verilmiştir [22].



Şekil 2. 2 Tam zamanında üretim felsefesi

2. 4. 11. Toplam Kalite Yönetimi

Tanımlama konusunda farklı yaklaşımlar sergilenmesine rağmen TKY; “bir organizasyon içinde kaliteyi odak alan, organizasyonun bütün üyelerinin katılımına dayanan, müşteri memnuniyeti yoluyla uzun vadeli başarıyı amaçlayan ve organizasyonun bütün üyelerine ve topluma yarar sağlayan bir yönetim yaklaşımı” şeklinde tanımlanabilir [23].

Toplam Kalite Yönetimi (TKY), bir kuruluştaki üretilen mal ve hizmetlerin, işletme süreçlerinin ve personelin sürekli iyileştirilmesi ve geliştirilmesi yoluyla önceden belirlenmiş müşteri

gereksinimleri ve beklentilerinin tüm çalışanların katılımıyla optimum maliyet düzeyinde karşılanması, kuruluş performansının iyileştirilmesi için stratejiler geliştirilmesi ve bununla ilgili planların uygulamaya konulmasıdır [24]. Toplam kalite yönetiminin verimlilik ve daimî kaliteyi artırırken maliyetleri düşürme, işlem sürelerini kısaltma ve savurganlığı önleme gibi amaçları bulunmaktadır.

2. 4. 12. Otonomasyon (Jidoka)

Otonomasyon (Jidoka) tekniği; hattı durdurma yetkisinin operatörlere verilmesi, problemlerin kaynağının tespit edilerek giderilmesinin sağlanması, makinalara ürettiği ürünü kontrol edebilme- bir anormallik gördüğünde otomatik durabilme ve/veya gerekli sinyalleri verebilme yeteneği kazandırılmasıdır. Ayrıca birden fazla makinanın yönetilmesinin sağlanması, bir problemle karşılaşıldığında derhal müdahale edilmesi ve böylece esas nedenin bulunmasının sağlanması gibi prensipler üzerine kuruludur. Otonomasyonun tam anlamıyla uygulanabilmesi için tüm işçilere, çalışma esnasında bir hatayla karşılaştıklarında çalışmaya devam etmemeleri ve gereken hallerde üretim hattını durdurmaları konusunda bilinç ve cesaret verilmelidir [8].

2. 4. 13. 5S (Ayıklama, Düzenleme, Temizlik, Standartlaşma, Eğitim-Disiplin)

Beş aşamadan oluşan, adını Japonca beş kelimenin baş harflerinden alan bir işyeri organizasyonu yöntemidir. Endüstriyel tertip, düzen ve temizliğin kuruluş içerisinde sistematik bir şekilde uygulamaya alınması, yönetilmesi ve sürekliliğin sağlanmasında 5S uygulaması en etkili araçtır. 5S uygulaması işyeri ortamının iyileştirilmesinde birinci adım olmalıdır. 5S sadece bir temizlik faaliyeti değildir. İşyeri kontrolünün artırılması, verimliliğin yükselmesi ve kayıpların önlenmesi için uygulanan basit ve etkili bir yöntemdir. 5S kuruluşlarda yapılan sürekli iyileştirme çalışmalarını destekler ve bu çalışmalara temel oluşturur.

5S geneldir, tüm sektörlerde, tüm çalışma alanlarına uygulanabilir. Toplam Verimli Bakım (TPM) ve Yalın Üretim uygulamalarının önemli bir adımıdır.

Neden 5S?

Daha tertipli, daha düzenli ve daha temiz iş alanları yaratarak;

- Maliyetleri azaltmak,
- Verimliliği arttırmak,
- Kaliteyi artırmak,

- İş kazalarını azaltmak, iş güvenliğini arttırmak,
- İşyeri kontrolünü kolaylaştırmak
- Termin sürelerine uyumu arttırmak,
- İsrafi ve kayıpları azaltmak,
- Üretim alanları ve tesislerinin etkin kullanımını sağlamak
- Arızaları azaltmak,
- Ürün, kalıp, tip değişim zamanını azaltmak,
- Makine, ekipman, malzeme ve stokların yerleşim konumlarını kontrol altına almak,
- Daha temiz, düzenli ve güvenli bir iş ortamı ile çalışanların motivasyonunu arttırmak,

SEIRI (Ayıklama)

Gerekli ve gereksiz malzemeler (Çalışma alanında istenmeyen makine, aparat, ekipman, yedek parça, hammadde, doküman, mobilya vb. eşyalar) birbirinden ayrılır, gereksiz malzemeler çalışma alanından uzaklaştırılır.

SEITON (Düzenleme)

Gerekli olduğunda kullanıma hazır olmaları için malzemeler uygun ve güvenli şekilde düzenlenir. Amaç gerektiğinde kullanılmak üzere aranan malzemelere 30 sn içerisinde ulaşmaktır.

SEISO (Temizlik)

Çalışma alanı her türlü tozdan, yağdan ve kirden arındırılmalı ve temiz tutulmalıdır. Kirlilik kaynağında yok edilmelidir.

SEIKETSU (Standartlaşma)

Temiz ve düzenli olmak alışkanlık haline getirilmelidir. Uygulamaların sürekliliği hedefleyen standartlar ve prosedür oluşturulmalıdır. Herkesin prosedüre uymasını sağlayacak kontrol mekanizması kurulmalıdır.

SHITSUKE (Sürdürme ve geliştirme)

Temiz ve düzenli olmak alışkanlık haline getirilmelidir. Prosedüre uygunluk ve elde edilen sonuçlar ölçülmeli, tanıma ve takdir uygulanmaya alınmalıdır. [25]

2. 4. 14. Kalite Çemberleri

Kalite çemberleri ile ilgili olarak çok çeşitli tanımlar yapılmasına karşılık genel olarak şöyle bir tanım verilebilir: Kalite çemberleri herhangi bir işyerinin verimlilik, etkenlik, kalite gibi çok çeşitli sorunlarını görüşmek, tartışmak ve çözümlmek amacı ile tamamen gönüllülük ilkesine dayalı olarak oluşturulan ve düzenli olarak toplanan küçük çalışan gruplarıdır. Kalite çemberleri gönüllülük ilkesine dayalıdır.

Çemberlere üye olup olmamak kişilerin isteğine bağlıdır. Çembere üye olmak kadar, ayrılmak da kişinin en doğal hakkıdır. Hiç kimse bu hakkı kişilerin elinden alamaz. Ayrıca bu isteğe bağlılık kişiler üzerinde güven duygusu yaratmakta, kendilerini zorlanmış hissetmelerini önlemektedir. Toplantılarda sadece kalite ile ilgili sorunlar değil; verimlilik, eğitim, maliyet gibi çeşitli konulara ilişkin sorunlar ele alınmaktadır.

Bir kalite çemberi küçük işletmelerde genellikle 4-6, orta ölçekli işletmelerde 6- 8, büyük ölçekli işletmelerde ise 8-12 kişiden oluşmaktadır. Her çember, faaliyetlerinden sorumlu bir lidere sahiptir. Lider genellikle bir denetçidir ve kalite çemberi faaliyetleri hakkında özel bir eğitim verir. Her çember programında bir de, rehberlik, koordinasyon, eğitim ve iletişimi sağlama görevlerini üstlenen bir çember rehberi bulunmaktadır. Yine çember bünyesinde bulunan yürütme komitesinin amaç ve politikaları saptama, yönetime rapor sunma, rehberlik ve yönlendirme gibi görevleri vardır. [26]

2. 5. Yalın Üretimde İsraf

İsrafın ilk endüstriyel tanımını Henry Ford, 1921 yılında yazdığı “Today and Tomorrow” (“Bugün ve Yarın”) isimli kitabında şu şekilde yapmıştır: İsraf, bir hammadde veya ürünün ihtiyaçtan fazla olan kısmıdır.

Bir başka tanıma göre israf, ürün veya hizmetlere değer katmayan, firmanın ana hedefinde ilerlemesine destek olmayan, ancak gerçekleştirdiğimiz aktivitelerin tümüdür.

Üretimde yedi temel israf söz konusudur. Bunlar:

1. Bekleme: Değer katan herhangi bir işin yapılmadığı boş zamandır. Söz konusu israf, makinenin beklemesi veya insanın beklemesi olarak da açıklanabilir ve uygulamada, aşağıdaki sebeplerden dolayı israfla karşılaşılabilir:

- Bir çalışanın bir makineyi beklemesi,
- Bir makinenin, onu çalıştıracak olan çalışanı beklemesi,
- Arıza ve duruşlara etkin müdahale olmaması,
- Uzun ayar süreleri,
- Tutarsız çalışma yöntemleri,
- Gereken araç ve malzemenin olmaması

2. Taşıma: Malzemenin, ürün ve/veya hizmetlere değer katmayan hareketleri ile aşağıdaki şekillerde karşılaşılır:

- Bir malzemenin birden fazla yerde olması,
- Kullanılmayan malzemenin geri dönüşü,
- Gereğinden fazla forklift veya konteynır kullanımı,
- Büyük partiler halinde üretim,
- Bozuk malzemenin depolanması.

3. İşlem: Değer katmayan işlemler için çaba harcamaktır. Söz konusu işlemler, müşteriye etkilemeyen iyileştirmeler içerir. Bu israfın ortaya çıkış şekli ve sebepleri şunlardır:

- Müşterinin beklentilerini anlayamamak,
- Gereksiz onay mekanizmaları,
- Gereksiz formların doldurulması,
- Gereğinden fazla bilgi ve dokümantasyon,
- Darboğazları yönetememek,
- Üretim bittikten sonra yapılan kalite kontrol.

4. Envanter: Üretim veya satış için gerekenden fazla malzeme, yarı mamul ve ürünün stoklanmasıdır. Bu israf türü, şu sonuçları doğurur:

- Düşük devir hızı,
- Operasyonlar arası malzeme yığınları,
- Fazla miktarda yeniden işlem ve tamirat,
- Yeni ürünlerin piyasaya gecikerek çıkması,

- Büyük depo alanları,
- Satılamayacak olanı üretmek ve onun takibi.

2. 5. 1. Fazla Stoğun Sebepleri

Üretimde oluşan fazla stokun başlıca nedenleri şunlardır:

Kalite problemlerinin üstünü örtmek: Satın alınan ve üretilen ürünlerin istenilen kalitede olduklarına dair şüpheler var ise biraz fazla almak veya biraz fazla üretmek söz konusu olabilir. Kalite problemlerinin azaltılması ile bu fazlalıklar da azalacaktır.

Büyük partilerle üretim yapmak: Tedarikçilerin izlediği politika, alışkanlıklar, birim fiyatı düşürebilmek için miktarı arttırmak, hazırlık sürelerinin uzun olması gibi sebeplerden dolayı bazen ihtiyaç duyulandan fazlası üretilir ve stoklar arttırılır.

Dengesiz ve değişken üretim süreçleri: Dengesiz veya ortaya ne çıkartacağı belli olmayan üretim süreçleri normalden daha fazla “hurda” oluşmasına sebep olurlar. Bu yüzden, daha fazla kalite kontrol çalışması yapılarak bu dengesizlik giderilmelidir.

Kayıtların doğruluğuna güvenememe: Stok kayıtlarına güvenilmediği durumlarda, gereğinden fazla satın alma olabilir. Ancak, ürün ağaçlarının doğruluğuna güvenilmiyor ise kullanılmayacak olanı almak veya kullanılacak olanı temin etmemek gibi problemler yaşanabilir.

Kaynaklara güvenememe: Sözünde durmayan tedarikçiler veya verdiği tarihe uyamayan üretim departmanı işletmeyi fazla stoka zorlar. Her iki kaynağın da niçin sözünde durmadığı veya duramadığı araştırılmalı ve çözüm yolu bulunmalıdır.

Talebin yönetilememesi: Talep tahminlerinin fazla iyimser olması, dağıtım ağlarının yeterince hızlı çalışmaması ve düzenli pazarlama faaliyetlerinin olmaması gibi durumlar talebin yönetilememesine sebep olur. Bu problem ise genellikle stoku arttırarak çözülmeye çalışılır.

Hatalı ürün tasarımı: Üretimin zorluğu, kullanılan malzeme veya parçalarda standartlaşmanın sağlanamaması ve her üründe farklı özelliklerde parçaların kullanılması stokları arttırır.

Malzeme temin sürelerinin uzun olması: Uzun veya belirsiz temin süreleri ile karşı karşıya olduğunda genellikle, güvenlik stoku arttırılır. Her belirsizliğin bir bedeli vardır ve her sistem kendini belirsizliklere karşı korumanın bir yolunu bulur. Bu yüzden, belirsizlikler azaltılmalı ve uzun süreler kısaltılmalıdır.

Dağınık ve düzensiz yerleşim: Düzensiz yerleşim ve dağınıklık; kayıpları arttırır, firma içi taşımayı arttırır, daha fazla kontrol ve daha fazla bilgisayar kullanımı gerektirir. Bunu engellemek için düzenli ve kullanım noktalarına yakın bir yerleşim gerçekleştirilmelidir.

Daha kısa teslim süresi veren bir rakibin olması: Müşteri siparişlerini daha çabuk teslim edebilmek için akla ilk gelen tedbir, stokları arttırmaktır. Mevcut mamul stokunu arttırmak ise hem yarı mamul hem de hammadde stoklarının arttırır.

Bir planlama sisteminin olmayışı: Bir planlama kurgusunun izlenmemesi ve düşük veri entegrasyonu, bilginin zamanında kullanılabilmesini ve doğruluğunu etkiler. Bilgi sisteminden faydalanmamanın neticesi ise her bölümün kendi başının çaresine bakmasıdır. Bu durumun en doğal sonucu ise sürekli var olan ve artan stoklardır [27].

2. 5. 2. Fazla Stoğun Zararları

Endüstride, üretimi aksatmamak için stoklu çalışma tercih edilebilmektedir. Ancak bu durumda aşağıdaki problemlerle karşılaşılabilir [27]:

- Stok maliyetleri ürün maliyetlerine yansır,
- Değişikliklerin yönetimi zorlaşır,
- Yüksek stoklar gerçek problemleri saklar,
- Kalitenin izlenmesi ve kontrolü zorlaşır,
- Görsel yönetim zorlaşır,
- Dengesiz iş yükleri oluşur,
- Beklemeler artar,
- Yönetim tüm zamanını gündelik ve acil durumlarla uğraşmakla geçirir,
- Müşteri isteklerinin çok değişken olduğu ortamlarda, ani talep değişikliklerine, maliyetlerden veya rekabet gücünden taviz vermeden, hızlı bir şekilde cevap vermek zorlaşır.

5. Hareket: Çalışanların, ürüne ve/veya hizmete değer katmayan herhangi bir amaç için hareket etmesi ile oluşan israf türüdür. Aşağıdaki durumlarda ortaya çıkar:

- Malzeme ve ekipman aramak,
- Erişim güçlüğü,
- Malzemelerin üretim alanından uzakta olması,
- Bölümler arasında gezinmeye sebep olan prosedürler,
- Fazla harekete sebep olan yerleşim düzeni,
- Fiziksel zorlanmaya sebep olan iş ortamı ve ekipmanlar.

6. Hurda: Bir ürün ve/veya hizmeti müşteri istekleri doğrultusunda onarmak, düzeltmek veya tekrarlamaktır. Bu israf türü, aşağıdaki sonuçları doğurur:

- Ek alan, araç ve ekipman tahsisi,
- Ek iş gücü kullanımı,
- Ek envanter,
- Sevkiyatın gecikmesi, teslim tarihinin aşılması,
- Daha düşük karlılık, daha fazla kayıp

7. Fazla Üretim: İhtiyaçtan fazla üretmektir. Sebepleri [28];

- Önceden üretmek,
- Gereğinden hızlı üretmek,
- Mevcut olanı üretmek,
- Meşgul görünme isteğidir.

Fazla üretimin sonuçları ise;

- Paraya dönüşmeyecek envanterin birikmesi,
- Gereğinden fazla makine ve tezgâh yatırımı,
- Dengesiz malzeme akışı,
- Büyük parti büyüklükleri,
- Ekstra saklama alanı, insan gücü gerektirmesidir.

Yalın felsefede israfların ortadan kaldırılması için kullanılan çok sayıda araç mevcuttur. Firmalar yalın olabilmek amacıyla farklı uygulamalarda bulunmaktadır. Çizelge 2.4, endüstri ve yönetim literatüründe 1977-1999 arasında ele alınma derecelerine göre yalın uygulamaları göstermektedir [29].

Çizelge 2. 5 Yalın uygulamalar ve endüstri ile yönetim literatüründe (1977 – 1999) kullanılma sıklıkları

Yalın uygulamalar	Ele alınma sıklığı		
	Çok	Orta	Az
Tam zamanında üretim / sürekli akış üretimi	√		
Çekme sistemi / kanban	√		
Hızlı değişim teknikleri	√		
Parti büyüklüğünün düşürülmesi	√		
Sürekli iyileştirme programları	√		
Çapraz-fonksiyonel işgücü	√		
Önleyici bakım	√		
Toplam kalite yönetimi	√		
Kendi kendini yöneten takımlar	√		
Hücreyel imalat		√	
Odaklanmış üretim		√	
Çevrim süresinin düşürülmesi		√	
Süreç yeterlilik ölçümleri		√	
Yeni süreç donanımları			√
Güvenlik iyileştirme programları			√
Darboğaz giderme (üretim düzgünleştirme)			√
Kalite yönetim programları			√
Yeniden yapılandırılmış üretim süreci			√
Rekabetçi kıyaslama			√
Bakım eniyilemesi			√
Planlama ve çizelgeleme stratejileri			√

BÖLÜM 3

YALIN LOJİSTİK

Yalın felsefe, hizmet ve ürün yaratma proseslerini israflardan arındırıp sadeleştirerek, sunulan değeri eniyi hale getirerek ve bu şekilde firma karlılığını arttırmak amacını taşıyan sistem, kavram ve teknikler bütünü olarak anlamına gelir. Yalın üretim ile üreticiler yüksek esneklik, etkililik ve düşük maliyetler sağlamak için çaba göstermektedir. Ancak çoğu şirket, yalın üretimi uyguladığı halde en yüksek yararı sağlayamamaktadır.

Yalın lojistik; arzu edilen hizmet düzeyinde ve en düşük maliyetle, hammadde, süreç içi stokların ve nihai ürünlerin fiziki yerleşimlerini ve hareketlerini kontrol etmek için tasarlanan ve yönetilen sistemlerin oluşturulmasında kullanılan gelişmiş bir yetkinliktir.

Operasyonel strateji olarak yalın lojistik; bir firmanın rakiplerine kıyasla daha düşük maliyetlerle müşteri beklentilerini karşılamasına olanak verir. Buna karşın, üstün finansal performanslar, verimli operasyonel performanslardan daha fazla şeye ihtiyaç duyar; örneğin mevcut pazarlarda, tedarik zinciri kaynaklarını kullanarak üstün müşteri değerleri yaratılmasını gerektirebilir. Bütün firmalar için en önemlisi ise; memnun edici karların oluşmasını garanti altına alacak, sürekli rekabet avantajları yaratan yeteneklerdir.

Günümüzün yüksek rekabet ortamında, etkin ve verimli lojistik faaliyetleri isteğe bağlı bir olgu değil, bir zorunluluktur. Yalın lojistik kavramının altında yatan ana maddeler:

- İsrafların yok edilmesi,
- Tedarikçi ağı boyunca değer akışının tanımlanması,
- Tedarikçiler ile eş zamanlı akışın sağlanması,
- İş ve üretim maliyetlerinin en aza çekilmesi,

- Şeffaflığın sağlanması,
- Karşılıklı iş birliği sistemiminin hayata geçirilmesi,
- Hızlı cevap üretme kapasitesinin geliştirilmesi,
- Riskin ve belirsizliğin yönetilmesi,
- Ana şirket ile yardımcı şirketler arasındaki stratejik ortaklıkların tesis edilmesi,
- Bilgi paylaşımının ve yaratıcılığın en üst düzeye çıkarılmasıdır.

Toyota yöneticisi Taiichi Ohno, fiyat ile değer birbirine karıştırılmaması gerektiğini ve müşteri bir ürünü satın aldığı anda, bunu o ürün kendisi için bir değer ifade ettiği için yaptığını belirtmiştir. Maliyetler arttığında, ürünün fiyatını arttırmak kolaycılıktır ve bu yapılmamalıdır. Eğer bir firma ürün fiyatını yükseltirken değeri değişmiyorsa, bu durum o firmanın müşterilerini kısa süre içerisinde kaybedeceği anlamına gelmektedir. Buradan hareketle, fiyat artışlarını gerçekleştirmenin neredeyse imkânsız hale geldiği günümüz şartlarında, maliyetleri en aza indirmek büyük bir önem kazanmaktadır. Bunun için üretim maliyetlerinin yanı sıra, tedarik zincirindeki israfları da en aza indirmek gereklidir. Müşteri ihtiyaçlarına daha hızlı, daha iyi ve eşsiz bir şekilde cevap verilmesi sağlanmalıdır [13].

Yeni yapıda hedeflenen müşterinin nihai ürünü çekmesine izin vermektir. İtme sisteminin en büyük avantajı üretimde düzgünleştirmenin sağlanabilmesi ve verimli bir üretim yapabilme olanağı sunmasıdır. Ancak beraberinde büyük miktarda stok getirmesi itme sisteminin dezavantajıdır. Çekme sistemi ise minimum stokla ve müşteri talebine uygun hareket etmeyi sağlar ancak üretimde düzgünleştirme faaliyetleri bir miktar zorlaşır. Şirketler yalın lojistik ile büyük miktarda ürünleri itmek yerine onların sistemden çekilmesini hedeflemektedir.

3.1. Yalın Lojistiğin Amacı ve Sağladıkları

Yalın düşüncede amaç; sadece müşterinin talep ettiği ürünleri, müşterinin talep ettiği zamanda, daha az kaynak harcamayarak üretebilmek ve müşteri için bir değer teşkil eden faaliyetlere odaklanabilmektedir [13].

Yalın lojistik düşünce yapısının temelinde, sistem içindeki israfların ve etkin olmayan akışların detaylı olarak anlaşılması yer alır. Bunun gibi akışların tespit edilmesinden sonra radikal veya iyileştirici çalışmaların yapılması, yalın lojistik sistemine hizmet edecektir. Bunun yapılabilmesi için gerekli çerçeve sadece Değer Akışı Haritalandırma olarak adlandırılır.

Yalın felsefe mantığına göre yalın lojistik, lojistik faaliyetlerindeki israfları ve verimsizlikleri ortadan kaldırmayı amaçlar.

Yalın Lojistik ile

- İç ve dış nakliyat,
- Malzeme depolama,
- Ürünlerin modasının geçmesi,
- Paketleme gibi faaliyetlerdeki israfların ortadan kaldırılmasına çalışılmaktadır.

Yalın lojistiğin ana amacı; doğru parçaları, doğru ambalajlarda, doğru yerde, doğru kalitede ve miktarda, doğru zamanda teslim ederek malzeme stoklarını ve lojistik maliyetlerini düşürmektir. Yalın lojistik sayesinde, tahminlerden kaynaklanan riskler, gereksiz envanter maliyetleri, parçaların eskime ve hasar görme tehlikeleri ortadan kaldırılır ve yüksek envanter çevrimleri, daha az masraflar, yüksek kalite, daha fazla güvenilirlik, düşük maliyetler ve daha kısa işlem süreleri kazanılır. Yalın lojistiğin ölçülebilir sonuçları Çizelge 3.1’de [30] gösterilmiştir.

Çizelge 3. 1 Yalın lojistiğin sağladığı ölçülebilir sonuçlar

Artma	Azalma
Ekipman Kullanımı	Kutu Hacmi
Alan Verimliliği	Toplam Lojistik Maliyetleri
Tedarik Zincirinin Etkinliği	Bekleme Süresi
Sevkiyat Sıklığı	Malzeme Taşıma
Kalite	İşlem Süresi
Yükleme Hızı	Çevrim Süresi
Doğruluk	Stok Alan İhtiyacı
Standartlaştırma	Araç Trafığı

3.2. Yalın Lojistiğin Klasik Lojistik Anlayışından Farkı

Geleneksel lojistik anlayışı ile yalın lojistik kavramı arasındaki farklar Çizelge 3.2’de [20] gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2 Geleneksel lojistik anlayışı ile yalın lojistik kavramı arasındaki farklar

Öge	Geleneksel Lojistik Anlayışı	Yalın Lojistik Anlayışı
Siparişlerin Verilmesi	Faks, EDI (elektronik veri değişimi), telefon	EDI (elektronik veri değişimi) ve/veya çevrimiçi
Üretim	Stok Üzerine Kurulu	Sipariş Üzerine Kurulu
Taşıma	FTL (tam yüklü araç), LTL (tam yüklü olmayan araç), harcanabilir kutular	Sürekli seferle, geri dönüşümlü kutular
Transit Depolama	Ambarlama	Hızlı sevkiyat, çapraz sevkiyat
Ambarda Depolama	Fazla Bekleme Süresi	İhmal Edilebilir Bekleme Süresi
Fabrikada Depolama	Ambarlama	Sürekli Akış
Nakliye Sıklığı ve Miktarı	Düşük, büyük hacimlerde	Yüksek, küçük hacimlerde
Taşıma Sayısı	Yüksek	Düşük

3.3. İç Lojistik

İç lojistik kavramı, fabrika veya depo gibi büyük tesisteki malzeme taşımayla ilgilidir. Tesis yerleşim düzeni, depodaki stok alanları, malzeme taşıma araçları, sipariş toplama stratejileri, malzeme taşıma araçlarının hareketine ilişkin operasyonel kurallar, iç lojistiği etkileyen etmenlerdir [31].

Genel olarak 3 tip depodan bahsedilebilir. Bunlar üretim depoları, dağıtım depoları ve kontrat depolarıdır. İç lojistik ile ilgili olan depo türü üretim depolarıdır. Temel olarak depolama faaliyetleri dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar kabul aşaması, depolama, sipariş toplama ve sevkiyat aşamalarıdır. Her bir faaliyetin tipik bir depoda işletim maliyeti farklıdır. Kabul aşaması maliyetlerin %15'ini, depolama aşaması maliyetlerin %20'sini, sipariş toplama aşaması maliyetlerin %50'sini ve sevkiyat da maliyetlerin %15'ini içermektedir.

İç lojistik sisteminin tasarlanmasında malzeme taşıma araçlarının seçilmesi de büyük önem arz etmektedir. Doğru aracı, doğru zamanda, doğru yerde, doğru şekilde ve doğru ürüne yönelik olarak kullanmak, sistemin doğru bir şekilde tasarlanması açısından önemlidir. Temel olarak malzeme taşıma araçları; forkliftler, çek çek araçları, transpaletler, trenler, konveyör ağları ve otomatik yönlendirmeli araçlardan oluşmaktadır [30].

3.3.1. Fabrika İçi Malzeme Taşıma Sistemleri

İç lojistik sistemi tasarımının en önemli noktalarından biri de malzeme taşıma sistemleridir. Bir üretim sisteminde farklı tipte ve özellikte taşıma sistemleri kullanılabilir. Malzeme taşıma

işlemleri, özünde katma değer içermeyen israf türlerinden biridir. Burada uygun bir malzeme taşıma sisteminin seçilmesi, katma değerli olmayan bu sürecin en az kayıpla gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Tipik bir endüstriyel işletmede malzeme taşıma faaliyeti; işgören sayısı açısından tüm personelin %25'ini, kullanılan alan açısından tüm fabrika alanının %55'ini ve işlem süresi açısından da toplam üretim süresinin %87'sini içermektedir. İlgili yüzdelerden de anlaşılacağı üzere iyileştirme yapılabilecek, israflardan arındırılabilir geniş bir alan bulunmaktadır [30]. Malzeme taşıma işlemleri ve bunlar için kullanılan ekipmanlar, tesis yerleşiminde dikkate alınması gereken tamamlayıcı unsurlardır. Ayrılmaları söz konusu değildir. Malzeme taşıma sistemindeki bir değişiklik tesis yerleşimini, aynı şekilde tesis yerleşimindeki bir değişiklik de malzeme taşıma sistemini değiştirecektir.

Malzeme taşıma ile ilgili farklı tanımlar mevcuttur. Malzeme taşıma Tompkins tarafından şu şekilde ifade edilmiştir: “Doğru yerde, doğru zamanda, doğru sırada, doğru pozisyonda ve doğru maliyette, doğru miktarda malzemeyi sağlamak için doğru metodu kullanan bir aktivitedir.” Bu tanım malzeme taşıma fonksiyonuna basit bir malzeme taşıma aktivitesi yerine, daha geniş bir sistem perspektifinden bakılması gerektiğini anlatmaktadır [31].

Malzeme taşımaya ilişkin bir diğer tanımlama ise Malzeme Taşıma Enstitüsü tarafından yapılandır. “Malzeme taşıma, işe ilişkin bir yerin sınırları içerisinde katı veya yarı katı haldeki yığın, paketli veya tekil ürünlerin makine vasıtasıyla olan hareketine ilişkin temel operasyonları içerir.”

3. 3. 2. Malzeme Taşımanın Amaçları

Malzeme taşıma maliyeti, taşınan malzemeye göre ürün maliyetinin %20'si ile %70'i arasında bir oran içermektedir. Malzeme taşıma sistemlerinin tasarlanmasında amaç, sadece tasarım ve operasyonel maliyetleri en aza indirmek değil, aynı zamanda üretim ortamındaki diğer aktiviteleri de destekleyen bir sistemi oluşturmak olmalıdır [13].

Malzeme taşıma sistemlerine olan ihtiyaç ve dikkatli planlama iki duruma bağlanabilir. Birincisi malzeme taşıma maliyetleri, üretim maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. İkincisi ise malzeme taşıma, operasyonları ve tesisin tasarımını etkilemektedir. Bu durumda malzeme taşıma sistemi tasarımlarının ana amacı, verimli bir taşıma ile üretim maliyetinin düşürülmesi olarak gösterilebilir. Daha özel olarak ise amaçlar aşağıdaki gibidir:

- Malzemenin ihtiyaç duyulduğu zamanda ve yerde olmasını sağlayarak malzeme akış verimliliğini arttırmak,
- Malzeme taşıma maliyetlerini en aza indirmek,
- Araçlardan faydalanmayı en üst seviyeye çıkarmak,

- Güvenlik ve çalışma koşullarını iyileştirmek,
- Üretim sürecini rahatlatmak,
- Etkinliği en üst düzeye çıkarmak,

Stephens ve Meyers de Sule'e benzer şekilde malzeme taşımanın ana amacının, üretimin birim maliyetinin düşürülmesi olduğunu ve bu noktadaki diğer amaçların alt amaç olarak değerlendirilebileceğini belirterek aşağıdaki amaçları sıralamışlardır:

Ürün kalitesini arttırmak ve devamlılığını sağlamak, hasarları azaltmak ve malzemeleri korumak

- Güvenliği arttırmak ve çalışma koşullarını iyileştirmek,
- Aşağıdakileri sağlayarak etkinliği arttırmak:
 - Malzemenin doğru bir hat üzerinde ilerlemesi,
 - Malzemenin mümkün olduğunca az bir mesafe kat etmesi,
 - Yerçekiminden mümkün olduğunca en üste seviyede faydalanılması,
 - Birçok malzemenin aynı anda taşınması,
 - Malzeme taşımanın otomatikleştirilmesi,
 - Malzeme taşıma/üretim oranlarının geliştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması,
 - Otomatik malzeme taşıma araçları kullanarak çıktının en üst düzeye çıkarılması,
 - Tesisin kullanım düzeyini arttırmak için aşağıdakileri yapmak
 - “Küp” depo kullanımının arttırılması (Deponun üç boyutunun birden düşünülmesi ve bütün hacimden faydalanılması)
 - Çok amaçlı donanımlar alınması,
 - Malzeme taşıma araçlarını standardize edilmesi,
 - Üretim donanımı kullanımının malzeme taşıma besleyicileri ile arttırılması,
 - Önleyici bakım programı uygulayarak, gerektiğinde donanımların değiştirilmesi ve bakımının yapılması
 - Malzeme taşımanın mekanize edilmesi,
 - Bütün malzeme taşıma donanımlarının bir sistemde bütünleştirilmesi
- Ölü ağırlık oranını düşürmek,
- Stoğu kontrol etmek

Arora ve Shinde de iyi bir malzeme taşıma sisteminin bazı önemli avantajlarının aşağıdaki şekilde olabileceğini belirtmişlerdir:

- Malzeme taşıma ve dolaylı işçilik maliyetlerinin en aza inmesi,
- Verimliliğin artması,

- Alan ve tesisin daha iyi kullanılması,
- Azaltılmış taşıma maliyeti,
- Çalışanlarda daha az yorgunluk

3. 3. 3. Malzeme Taşıma İlkeleri

Malzeme taşımanın nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğine ilişkin kesin belirli kurallar yoktur. Fakat bazı temel ilkeler bulunmaktadır. Bu ilkeler, farklı kaynaklara göre çeşitli sayılarda bulunmaktadır. Amerikan Malzeme Taşıma Endüstrisi'ne göre malzeme taşımaya ilişkin aşağıda gösterildiği şekliyle 10 ilke bulunmaktadır:

- İş
- Çevre
- Ergonomi
- Planlama
- Alan kullanımı
- Sistem
- Birim yük
- Ürün döngüsü maliyeti
- Standardizasyon
- Otomasyon

Malzeme taşıma ilkeleri benzer olmakla birlikte farklı kaynaklarda farklı sayılarda yer alabilmektedir. Aşağıda Sule tarafından belirtilen taşıma ilkeleri ve tanımlamaları bulunmaktadır:

Malzeme Taşıma İlkeleri:

Sistem akışı: Mümkün olduğunca elleçleme aktivitesinin uygulanabilir koordineli bir sistem içinde satış, kabul, ön depolama, üretim muayenesi, paketleme, son depolama, sevkiyat, ulaştırma ve müşteriler gibi durumlarla bütünleştirilmesi

Malzeme akışı: Malzeme akışını optimize eden operasyon sırası ve araç yerleşim planının sağlanması

Yerçekimi: Elverişli olduğu durumlarda malzemeleri hareketlerini yerçekiminin kullanılarak sağlanması

Alan kullanımı: Tesisten en iyi şekilde faydalanılması

Planlama: En yüksek oranda operasyon verimliliği elde edebilmek için bütün malzeme taşıma ve depolama aktivitelerinin planlanması

Basitleştirme: Taşımanın, gereksiz hareketlerin veya araçların azaltılarak, elimine edilerek veya birleştirilerek basitleştirilmesi

Birim boyutu: Birim yüklerin miktar, boyut veya ağırlığının veya akış hızının artırılması

Mekanizasyon: Taşıma operasyonlarının mekanize edilmesi

Araç seçimi: Araç seçiminde, taşınan malzemenin, hareketin ve kullanılan metodun bütün yönleriyle değerlendirilmesi,

Standartlaştırma: Taşıma metotlarının, taşıma aracının türüne ve boyutlarına göre standartlaştırılması

Adaptasyon: Özel amaçlı araç gerekmediği durumlarda, çeşitli işleri ve uygulamaları yapabilecek metotlar ve araçlar kullanılması

Otomasyon: Üretim, taşıma ve depolama fonksiyonlarını dâhil etmek için otomasyonun sağlanması,

Faydalanma: Malzeme taşıma aracı ve işgücü için en iyi faydalanma planlarının oluşturulması

Bakım: Bütün malzeme taşıma araçları için önleyici bakım ve çizelgelenmiş tamirat planlarının oluşturulması

Ölü ağırlık: Mobil taşıma araçlarında ölü ağırlığın oranının azaltılması

Kapasite: Taşıma araçlarının istenen üretim kapasitesine ulaşmak için kullanılması

Kontrol: Malzeme taşıma aktivitelerinin üretim kontrolü, stok ve sipariş işleme için kullanılması

Güvenlik: Güvenli taşıma için uygun metotlar ve araçlar sağlanması

Performans: Taşınan bir birimin maliyeti bazında, taşıma performansının etkinliğinin belirlenmesi

Kullanılmaz hale gelme: Eski metotların ve araçların, operasyonları daha etkin kılacak taşıma metotlarıyla değiştirilmesi

3. 3. 4. Malzeme Taşıma Sisteminde Performans Göstergeleri

Bir sistemin doğru bir şekilde işleyip işlenmemesinde ve performansının değerlendirilmesinde en önemli hususlardan biri de performans göstergeleridir. Malzeme taşıma sistemleri için geçerli olan performans göstergeleri Kulwiec tarafından aşağıdaki şekilde belirtilmiştir. Sule de ilgili performans göstergeleri için çeşitli açıklamalarda bulunmuştur [30].

Üretim Döngü Verimliliği (ÜDV):

ÜDV=Gerçek üretim operasyonlarındaki süre (makine süresi)/üretim departmanındaki süre
Makine kullanım oranını arttırmak için gecikmeler en aza indirilmeye çalışılarak üretim için harcanmayan atıl süre azaltılabilir.

Malzeme Taşıma İşçilik Oranı (MTGO):

Malzeme taşıma faaliyetlerinin payı genel üretim faaliyetlerinin payına göre azaltılmalıdır. Aynı şekilde genel personel sayısı içindeki malzeme taşımadan sorumlu personel oranıda en aza indirilmelidir. Bu oranın %30'un altında olması tercih edilmelidir.

MTGO = Malzeme taşıma işine atanan personel / Toplam çalışan personel

Depolama Alanı Kullanım Oranı (DAKO):

DAKO=Kullanılan depolama alanı / Toplam hazır depolama alanı

Depodaki operasyonun devam ettiği alan toplam depo alanının ne kadarına yayılabilirse depo o kadar verimli kullanılmış demektir. Bu oran olabildiğince %100'e yakın bir oran olmalıdır.

Malzeme Taşıma Aracı Kullanım Oranı (MTAKO):

MTAKO=Bir saatte taşınan parçalar (yük ağırlığı) / teorik kapasite

Zayıf planlama, araç arızaları ve depo yapısı yük hareketini azaltılabilir. Bu oran 1'e yakın bir değer olmalıdır.

Koridor Alanı Kullanım Oranı (KAKO):

KAKO=Koridorlar tarafından kullanılan alan / Toplam alan

Söz konusu kullanım oranı 0,10 ile 0,15 arasında olmalıdır.

Hareket/Operasyon Oranı (HO):

HO= Hareket sayısı / Üretken operasyon sayısı

Söz konusu hareketler mal kabulden, depolamadan operasyona ve tekrar depolama gibi çeşitli hareketleri ifade etmektedir. Oranın yüksekliği gelişim anlamına gelmektedir.

Hasarlı Yük Oranı (HYO):

HYO= Hasarlı yük sayısı / Toplam yük sayısı

Bu oran malzeme taşımanın kalitesini ifade eder. Süreç içerisindeki tüm taşıma faaliyetleri neticesinde ne kadar az yük hasarlanırsa taşıma kalitesi o kadar yüksek olduğu anlaşılır. İdeal olarak bu oran en aza indirilmeye çalışılmalıdır.

Enerji Oranı (EO):

$EO = \text{Depodaki toplam enerji tüketimi} / \text{Depolama alanı}$

Bu oran, soğutma ve ısıtma operasyonlarının verimliliğini ifade eder. Oranın geliştirilmesinde iş görenlerin olmadığı bir yerde deponun belirli bir bölümünün ısıtılması veya soğutulması, gerekmediği zaman ışıkların söndürülmesi, kalıcı ışıklar yerine taşıt ışıklarından faydalanılması gibi uygulamalar yapılabilir [31].

3. 3. 5. Malzeme Taşıma Araçlarının Türleri

Üretim sahalarına, üretim türlerine ve nihai ürüne göre çeşitli sayılarda malzeme taşıma aracı mevcuttur. Heragu, belirli bir malzeme taşıma aracının seçilmesinin; şekle, maliyete, boyuta, yüklerin hacmine, ağırlığa, alan durumuna ve istasyonların türlerine göre değişiklik gösterebileceğini belirtmiştir. Aşağıdaki soruların cevapları da bu noktada önemlidir.

- Ucuz ve bakımı kolay mı?
- Mevcut sistemlerle bütünleştirilebilir mi?
- Üretim verimliliğini önemli düzeyde artırıyor mu?
- Esnekliğe izin veriyor mu?

Yedi temel malzeme taşıma aracı aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Robotlar
- Yük vagonları
- Vinç kolları, vinçler ve yük asansörleri
- Palet taşıyıcıları (transpalet, akülü transpalet)
- AGV'ler
- Konveyörler
- Depo malzeme taşıma araçları

Malzeme taşıma araçları farklı kaynaklarda çoğunlukla benzer olmak üzere farklı şekillerde de sınıflandırılabilmektedir. Hiregoudar ve Reddy, malzeme taşıma araçlarını ana başlık olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır:

- Konveyörler
- Birim yük oluşturma donanımları
- Endüstriyel kamyonlar

- Konumlandırma donanımları
- Vinçler
- Tanımlama ve haberleşme donanımları

Stephens ve Meyers, malzeme taşıma araçlarının 500'den fazla farklı çeşidinin olduğunu, fakat geleneksel olarak malzeme taşıma araçlarının dört sınıf altında toplanabileceğini belirtmiştir.

Bu sınıflar şu şekildedir:

Sabit yol veya noktadan noktaya: Önceden belirlenmiş sabit bir yolda malzeme taşıma araçları hareket eder. En klasik örneği trenler ve konveyörlerdir. Ayrıca bu sınıf sürekli akış sistemleri olarak da tanımlanabilir [30].

Değişken yol-değişken alan: Bu gruptaki donanımlar için yol ve alan sınırlaması yoktur. Manuel veya otomatik taşıma araçları, forkliftler örnek olarak verilebilir.

Yardımcı aletler ve donanım: Paletler, konteynerler, otomatik veri depolama sistemleri gibi diğer sınıflardaki malzeme taşıma araçlarının işleyişinde kullanılırlar. Benzer şekilde Sule tarafından da malzeme taşıma araçlarının hizmet edebilecekleri yere göre de karakterize edilebileceği belirtilmiştir. Buna ilişkin sınıflandırma da aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

Sabit noktalar arasında ve sabit bir yolda; Bantlı konveyör, rulolu konveyör, oluklu konveyör, çatalı konveyör, vidalı konveyör, zincirli konveyör, baş üstü tek raylı konveyör, yük arabalı konveyör, tekerlekli konveyör, çekicili konveyör, kovalı konveyör, el araba yönergeli konveyör, pnömatik tüplü konveyör.

Sabit alan: Malzeme taşıma araçlarının sınırlı bir alanda üç boyutlu olarak herhangi bir noktaya erişiminin mümkün olduğu sistemlerdir. Vinçler ve otomatik depolama ve geri getirme sistemleri örnek olarak verilebilir [31].

Sınırlı alanlarda; Yük asansörleri, baş üstü vinçler, hidrolik makaslı kaldırıcılar

Geniş alanlarda; El arabaları/yük arabaları, sıralı platformda yük arabaları, manuel kaldırma araçları/palet kaldırıcıları, güç destekli el arabaları, güç destekli platform araçları, forkliftler, dar koridorlu yük arabaları, çekici römorklu trenler, malzeme kaldırıcıları, davullu yük arabası, davul kaldırıcı, iki tekerlekli çekici, otomatik yönlendirmeli araç sistemi.

Farklı kaynaklardan da görüldüğü üzere malzeme taşıma sistemleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu durumda Stephens ve Meyers'ın belirttiği geleneksel sınıflandırmaya da uygun olarak konveyörler, vinçler ve endüstriyel yük araçları ana başlıkları altında malzeme taşıma araçlarına ilişkin detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir. Esasında malzeme taşıma aracı türü olmayan palet, konteyner gibi yardımcı elemanlar da bir sınıf gibi düşünülerek bazı bilgiler verilmiştir.

Konveyörler

Konveyörler, belirli noktalar arasında sıklıkla malzeme taşınması gerektiği durumlarda, malzemeleri sabit bir yolda hareket ettirmek durumunda ve sabit konveyör yatırımını karşılayacak yeterli akış hacmi olan durumlarda kullanılmaktadır. Konveyörler taşınan malzemenin türüne göre birim yük veya yığın şeklinde olabilirler, konveyörün konumu baş üstü, zemin üzeri veya zemin altı şeklinde olabilir. Konveyörlerin çok sayıda çeşidi bulunmaktadır. Sektörlere göre de çeşitlilik göstermektedirler. Otomotivde, metal sanayisinde, gıda sanayisinde, hava alanlarında vb. çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Konveyörler daha önceki kısımda da belirtildiği üzere bantlı, rulolu, oluklu, çatalı, vidalı, zincirli, baş üstü tek raylı, yük arabalı, tekerlekli, çekicili, kovalı, el araba yönergeli ve pnömatik tüplü ve spiral şeklinde olabilir [30].

Konveyörlerin faydaları

- Çok yönlüdürler zemin üzerinde veya yüksekte olabilirler.
- Hızları ayarlanabilir.
- İstasyonlar arasında geçici depolamalar mümkündür.
- Yük transferi otomatiktir ve çok sayıda iş görenin yardımını gerektirmemektedir.
- Düz hat yolları veya koridorlar gerektirmemektedir.
- Yüksek kapasiteleri çok sayıda ürün taşımalarına imkân verir.
- Taşıma işlemi, işleme ve kontrol gibi diğer aktivitelerle beraber yürütülebilirler.
- Yüksek konveyörlerde iş alanının bütün hacminden faydalanılması olurludur.

Konveyörlerin Sakıncalı Yönleri

- Konveyörün herhangi bir parçasındaki bozulma bütün hattı durdurur.
- Konveyörler pozisyon olarak sabit olduklarından mobil araçların zemin üzerinde hareketini engellerler.
- Sınırlı bir alana hizmet vererek sabit bir yol izlerler ve sistemde darboğazlar olabilir.

Vinçler

Vinçler sınırlı bir alanda malzemeleri yatay ya da dikey olarak taşımada, konveyörün kullanılmasını karşılayacak kadar akış hacminin olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Vinçlerin çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları monoray köprü vinçler, monoray tavan vinçler, pergel vinçler, portal vinçler ve çift kiriş vinçlerdir [31].

Vinçlerin faydaları

- Malzeme taşıma aracının kurulumunda kullanılması yerine iş için değerli alan boşluğu korunmaktadır.
- Ağır yüklerin taşınmasında kullanılır.
- Malzemelerin kaldırılması ve taşınması mümkündür.
- Malzemelerin boşaltılmasında ve yüklenmesinde kullanılır.
- Zemin üzerinde işle ilgili olan durum en aza indirilebilmektedir.

Vinçlerin sakıncalı yönleri

- Bazı vinçler düz bir hatta ilerleyebilir ve bu sebeple dönüşler gerçekleştiremezler.
- Yüksek kullanım oranı istenildiği kadar olmayabilir. Çünkü vinçler günlük işler içerisinde kısa bir zaman aralığında kullanılmaktadır.
- Sınırlı bir alana hizmet etmektedirler.
- Köprülü kavşak gibi bazı türlerin kullanılabilmesi için bir çalışan bulunmalıdır.
- Büyük yatırımlar gerektirmektedirler.

Endüstriyel Yük Araçları

Endüstriyel yük araçları, değişken yollar üzerinde sınırlandırma olmaksızın malzemeleri hareket ettirmek için kullanılırlar. Konveyörlere ve vinçlere göre çok esnek hareket alanları vardır. En temel yük araçları forkliftler, transpaletler, el arabaları, istif araçları, kısa tren vb. araçlardır [30].

Yük araçlarının faydaları

- Malzemeleri; transfer etmenin yanı sıra yükleme, boşaltma ve kaldırmaya da uygundur.
- Sabit bir yolda hareket etmek durumunda değildir. Alanın müsait olduğu her yerde kullanılabilirler.

Yük Araçlarının sakıncalı yönleri

- Ağır yükleri taşıyamazlar.
- Birçok yük aracı bir iş gören tarafından kullanılmak zorundadır.
- Yük araçları diğer araçlardaki gibi taşıma esnasında işleme ve muayeneye imkân vermemektedir.
- Bir turda sınırlı sayıda kapasiteleri vardır.
- Koridorlara ihtiyaç vardır. Aksi takdirde yük araçları zemin üzerindeki işle karışıklık gösterebilirler.

Tesislerde materyal aktarmada kullanılan araçlar tasarım, performans, gördükleri iş ve fiyat gibi faktörler açısından çok çeşitlidir. Yeni araç alırken, yüzlerce çeşit aracı her bir özellik itibarıyla, ayrıntılarıyla değerlendirmek ve birbiriyle kıyaslamak güçtür. Araçları bazı ortak özelliklerine göre karşılaştırmak daha pratik bir yaklaşımdır. Farklı görünüşteki aktarma araçlarını karşılaştırma olanağı sağlayan bu karakteristikleri şöyle sıralanabilir.

Esneklik; Fabrikalarda taşınan malzemeler ve parçalar, genellikle, büyüklük, ağırlık, cins ve miktar bakımından büyük farklılıklar gösterirler. Ayrıca taşıma şekli ve uzaklığı, üretim metotları ve iş akış tipleri arasında da önemli farklar olabilir. Buna işyeri düzeni, ürün ve üretim metotları ile ilgili olarak, zaman zaman ortaya çıkan farklılıklar da eklenirse, taşıma araçlarının ne kadar farklı koşullar altında ve ne kadar farklı amaçlarla hizmet vermesi gerektiği ortaya çıkar. Bu bakımdan bir aracın taşıma kapasitesinin ayarlanabilir ve çok amaca hizmet edebilir, yani esnek olması arzu edilebilir. Taşıma araçlarının fabrikanın değişik yerlerinde kullanılabilmesi, boş kapasitelerin değerlendirilmesi bakımından çok önemlidir.

Çalışma boşluğu ihtiyacı; Taşıma aracının yükleme, boşaltma ve hareket edebilmek için gereksinim duyduğu alan ve hacim küçük olması arzu edilir. Buradan kazanılacak boşluklar doğrudan üretime dönük amaçlarla veya depo olarak kullanılabilirdiğinden, taşıma araçlarının maliyetinde, görünmeyen, dolaylı bir tasarruf söz konusudur. Bazı tip taşıma araçları fabrikada sabit bir yer işgal eder, dolayısıyla bu alandan başka bir amaçla yararlanma olanağı söz konusu değildir. Aynı işi gören fakat gerektiğinde yeri değiştirilebilen bir aracın daha avantajlı olması mümkündür. Ancak hareket eden araçların ayrıca bir hareket boşluğuna ihtiyaç duydukları unutulmamalıdır. Başka bir şekilde kullanılma olanağı bulunmayan boşluklara yerleştirilebilen araçlar, hacimden yararlanma bakımından en avantajlı olanlardır. Tavana asılı raylı konveyör gibi taşıma sistemlerinin, ilk yatırım maliyetleri ve binanın yapısı elverdiği takdirde tercih edilmeleri gerekir. Burada, bir başka örnek, 8 metre yüksekliğe kadar yerleştirme yapabilen çatallı istif arabalarıdır. Böylece, istif yüksekliği ile tavan arasındaki boşluk azaltılarak kullanılma olanağı bulunmayan bir hacim faydalı hale getirilebilir.

Denetim ve Kullanma Kolaylığı; Her taşıma aracı veya sistemi bir çeşit yöntem ve denetime muhtaçtır. Tam otomatik sistemler bile, bir ilk ayarlamayı ve arıza anında müdahaleyi gerektirir. Montaj hatlarında kullanılan konveyörlerde de sürekli kontrol ve belirli noktalarda elle yükleme veya insan müdahalesi yoğunluğu vardır. Taşınan malzemenin miktarı ve frekansı arttıkça insan gücü kullanma oranı ve denetim sıklığı da artar. Bütün bunlar, taşıma sisteminin işletme maliyetini arttıran faktörlerdir. Eğer sistemin tasarımı denetime az ihtiyaç gösterecek şekilde yapılmış ise veya az bir insan gücü ile boş kalma süreleri kolaylıkla kısaltılabiliyorsa önemli bir maliyet avantajı sağlamak mümkündür.

Hız; Taşıma hızı, taşıma sisteminin ekonomiklik analizinde önemli bir faktördür. Hız sabit ya da değişken olabilir. Tekerlekli taşıma araçlarının hepsinde hızın değişken olması ve maksimuma çabuk ulaşması istenir. Bir montaj hattında, üretim hızı konveyör hızı ile ayarlanmak isteniyorsa hızın değişken olması şarttır. Aracın kısa sürede maksimum hıza erişmesi, doğrudan taşıma süresini ve dolayısı ile çalıştırma ve işçilik maliyetlerini azaltır. **Güç;** Taşıma araçlarını tahrik edecek gücün cinsi ve kaynağı seçimde önemli bir rol oynayabilir. Tahrik gücü, şebeke elektriği, akümülatör, benzin ve dizel motorları, hidrolik güç ve nihayet yerçekimi gibi kaynaklardan sağlanabilir. Mümkün hallerde öncelikle yerçekiminden yararlanma yoluna gidilmelidir. Şebekeden aldığı elektrikle çalışan elektrik motorlarının tahrik ettiği sistem ikinci olarak düşünülmelidir. Yangın veya patlama tehlikesinin fazla olduğu yerlerde akümülatörle tahrik edilen araçlar kullanılır. Fabrikanın durumu, imalat tipi ve çevre şartları taşıma sistemlerinin güç kaynaklarını belirleyen faktörlerdir.

Taşıma Kapasitesi; Çeşitli taşıma araçlarını ortak bir taşıma kapasitesi ölçümü ile değerlemek güçtür. Taşıma şekli, hızlar ve çalışma sürelerindeki belirsizlikler, sistemleri bu faktöre göre karşılaştırmayı güçleştirir. Bununla beraber, benzer araçlar taşıyabilecekleri maksimum yüklere göre kıyaslanabilirler.

Hareket Yolu; Bir taşıma aracının hareket yolu sabit veya değişken olabilir. İmalat işlemleri ve taşınacak malzemeler standart ise taşıma yolunun sabit tutulması olanağı vardır. Örneğin, montaj hatlarında işlemler ve parçalar hep aynı sırayı takip ettiğinden, taşımalar sabit hareket yollu konveyörlerle yapılır. Sipariş imalatında, işler değişik ve taşıma yerleri işten işe farklı olduğundan, çatallı istif arabalarının kullanılması daha uygundur.

Materyal aktarma sisteminin kurulmasında çeşitli analiz ve hesaplama yöntemleri uygulanır. Ancak, bulunan sonuçlar genellikle hangi taşıma aracının kullanılması gerektiğini tam olarak belirlemeye yeterli değildir. Ancak, yönetimin aynı işleri görebilecek değişik tip veya fiyattaki araçlar arasından, isabetli seçim yapmasını sağlar. Bu nedenle, bu kararı verecek olan kişilerin, yani yöneticilerin, malzeme taşımada kullanılan araçlar hakkında bir miktar bilgi sahibi olmasında yarar vardır. Piyasada satılan ve aynı işi gören araçları kıyaslarken teknik bilginin yanı sıra tecrübenin de rol oynadığı unutulmamalıdır.

Materyal aktarmada kullanılan araçlar gördükleri iş ve yapı bakımından çok çeşitlidir. Evrensel bir sınıflandırma yapmak güçtür. Bazı meslek kuruluşları ve araştırmacıların yaptıkları sınıflandırmalar birbirlerinden oldukça farklıdır. Örneğin, taşıma hareketinin niteliğine göre yapılan bir sınıflandırmada araçlar, sabit izli, değişken izli, kesikli, sürekli, uzun mesafeli, kısa

mesafeli, bina içinde, açık havada, düşey ve yatay olmak üzere 10 grupta sınıflandırılabilir. American Material Handling Society tarafından yapılan sınıflandırmada ise araçlar yapılarına göre dokuz gruba ayrılmıştır:

- Konveyörler
- Vinç ve asansörler
- Konumlandırma ve kontrol araçları
- Endüstriyel taşıtlar
- Motorlu taşıtlar
- Demiryolu araçları
- Deniz taşıtları
- Hava taşıtları
- Çekmelik ve paletler

İşletme içinde yapılan taşımalar açısından yukarıdaki grupların sadece birkaçı önem taşır. Bu bakımdan Reed tarafından yapılan sınıflandırma amacımıza daha uygun düşmektedir. Reed'e göre fabrikalardaki malzeme naklinde kullanılan araçlar üç grupta toplanabilir:

- Sabit izli araçlar (konveyörler, asansörler vb.)
- Sınırlı alanda çalışabilen araçlar (vinçler vb.)
- Geniş ve sınırsız alanda çalışabilen araçlar (traktör, istif arabası vb.)
- Sabit İzli Taşıma Araçları

Tüm bu materyal aktarma sistemi araçlarının sınıflandırılmasında karşımıza hareket yollarının sınırlı olması, gidiş-dönüşler, yükleme-boşaltma gibi kavramlar çıkmaktadır. Bunlar üretim faaliyetleri esnasında, aynen her gün yaşanan sabah işe yetişme telaşı içindeki trafik karmaşasını hatırlatmaktadır. Trafik içerisinde nasıl bir yönetim zorunluluğu ortaya çıkıyorsa aynı şekilde materyal aktarımı sırasında da bir trafik yönetimi durumu söz konusu olmaktadır. Bu nedenle materyal aktarımı ile ilgili olarak tıkanıklık ifadesi geliştirilmiştir. Şimdi bu ifade hakkında kısaca bilgi vermek yerinde olacaktır.

Tıkanıklık araçların serbestçe hareketini önler. Tıkanıklığın bir sonucu olarak, araçlar düşük hızda hareket edebilir ya da durmak zorunda kalabilir. Araçlar yol üzerindeki diğer araçlar ya da kesişmeler nedeniyle gecikebilir. Tıkanıklık düzeyleri aşağıdaki niceliklerle ölçülebilir:

- Araç engelleme zamanı; diğer araçlar nedeniyle aracın hareket edememesi olarak ifade edilir.
- Hat engelleme yüzdesi; araç engellerinden dolayı hattaki bazı bölümlerde kalmasıdır.
- Hat yararlanma oranı; tüm hat bölümlerinin AGV sayısına oranlanmasıdır.

- Kesişmelerde aracın bekleme süresi; kesişmelerde ortalama araç bekleme süresidir.
- Tıkanıklığın ölçümü için bir indeks değeri geliştirilmiştir.
- Tıkanıklık indeksi = tıkanıklık olmadığında en kısa taşıma süresi/gerçek taşıma süresi

3.3.6. Malzeme Taşımada Kullanılan Yardımcı Araçlar

Malzeme naklinin önemli prensiplerinden birine göre, bir defada taşınacak miktar, mümkün olduğu kadar büyük ve standart boyutlarda olmalıdır. Bu şartı sağlayacak yardımcı araçların geliştirilmesi son yıllara kadar önemsenmemiştir. Tüm taşımacılık endüstrilerinde devrim yaratan bu araçlar sağladıkları inanılmaz ekonomik avantajlara oranla son derece basittir. Ortaya çıkışları sadece yukarıdaki prensibi uygulamaya çalışmanın bir sonucudur.

Yardımcı araçlar doğrudan taşıma yapmazlar. Tahrik güçleri yoktur. Fonksiyonları taşınacak malzemenin boyutları belli bir hacimde toplanmasının ve korunmasını sağlamaktan ibarettir. Yardımcı taşıma araçlarını başlıca iki grupta toplamak mümkündür. Birinci gruptaki araçlar palet adını taşırlar. Paletler 10-15 cm kalınlıkta, bir veya iki yüzü kullanılabilen, standart boyutlu düzlemlerdir. Ağaç, alüminyum, sıkıştırılmış kâğıt ve çelik gibi malzemelerden yapılırlar. İki yüz arasında bulunan destek takozları, istif arabasının çatallarının rahatça girebileceği şekilde tasarlanmalıdır. Paletler üzerine konulan yükler, malzemenin şekline ve cinsine göre belirli bir düzende yerleştirilirler. Yüklü paletler 5-8 metre yüksekliğe kadar üst üste konulabildiklerinden, malzemenin ezilmesine ve devrilmeye engel olacak biçimde yerleştirilmelidir. Plastik paletler de ahşap paletlere göre daha dayanıklı oldukları için endüstri çevrelerinde kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Malzeme naklinde kullanılan yardımcı araçların ikinci önemli grubu çekmeliklerdir. Bunlar yüklerin daha büyük birim miktarlarda taşınmasını sağlayan, standart boyutlu, prizmatik tamamen kapalı metal kaplardır. Çekmelikler önce deniz ve demiryolu taşımacılığında gelişmiştir. Karayollarında kullanılma oranı da hızla artmaktadır. Fabrikalarda çekmelikler daha çok uzun süreli depolamalarda veya tüketiciye derhal sevk edilecek malların korunmasında yararlı olurlar.

Materyal aktarmada kullanılan bu yardımcı araçlar pazarlama çalışmalarıyla ilişkiyi de ortaya koymaktadır. Pazarlama fonksiyonu içinde bu yardımcı araçlar yükleme ya da nakliye ambalajı olarak ifade edilmektedir. Bu ambalajlar ürünün tanıtılmasında ve diğer firmaların ürünlerinden ayırt edilmesinde de rol oynamaktadır. Taşıma için kullanılan kasaların bir araya getirilmesi veya birden çok kasa içeren yüklere konteynır adı verilmektedir. Pazarlama çalışmaları içerisinde koruyuculuk fonksiyonu, ambalajın içindeki ürün veya maddeyi, kabın kendini ve ambalajla temasa geçen kişileri korumayı içermektedir. Genel olarak baktığımızda ise materyal aktarma faaliyetleri pazarlamanın dört temel ilkesinden dağıtım ile yakın ilişki içinde

bulunmaktadır. Fiziksel dağıtımın temel amacı ürünlerin ilişkili noktalar arasında fiziksel olarak hareket ettirilmesidir. Harp sanatında kullanılan lojistik kavramı, askeri birlikleri, donatımları, araç ve gereçleri yerleştirme, harekete geçirme, komuta etme gibi konuları kapsamaktadır. Bu kavramın işletme bilimine uyarlanması işletme lojistiği kavramını doğurmuştur. İşletme lojistiği ise hammadde, yedek parça ve bitmiş ürünlerin satıcılardan tüketicilere kadar hareket ettirilmesiyle ilgili strateji ile faaliyetlerin yönetimidir. Fiziksel dağıtımın tanımı da materyal aktarma ile büyük benzerlik göstermektedir. Doğru ürünün, doğru miktarda, doğru zamanda müşterinin istediği noktaya götürülmesi fiziksel dağıtımı ifade eder. Materyal aktarmada kullanılan yardımcı araçların pazarlama faaliyetleriyle ilişkisi kısaca açıklandıktan sonra çekmelik sistemi ile ilgili açıklamalara devam etmek yerinde olacaktır. Çekmelik sisteminin üstünlükleri şöyle özetlenir:

- Yükleme-boşaltma işinde insan gücünün az kullanılması,
- Taşıma noktaları arasındaki ara yükleme ve boşaltmalarda veya transferlerde az vakit kaybedilmesi,
- Çekmelik içine konan malzemeleri koruyacak ambalaj maliyetinin azalması,
- Malzeme bozulma ve hasara uğrama olasılığının azalması,
- Depolama kapasitesinin artması,
- Kayıp ve çalmaların azalması,
- Ara terminallerdeki işlemlerin azalması,
- Açık havada depolama yapma olanağı bulunması,
- Yükleme-boşaltma tesislerinin yüksek verimle çalışması,
- Dağıtım veriminin ve satışların artması

Çekmelik sistemlerinin uygulanma alanı, endüstrileşmiş ülkelerden başlayarak hızla genişlemektedir. Yeni yük gemileri yalnız çekmelik taşıyacak şekilde inşa edilmektedir. Limanlarda tesisler çekmelik sistemine uyacak şekilde değiştirilmekte veya tamamen yenilenmektedir. Materyal aktarma sistemlerinin tasarımı ile ilgili yapılan bu açıklamalar sistemin tasarlanmasında etkisi olan faktörleri göz önüne sermaye çalışmıştır. Buna göre hazırlanacak bir sistemin performansı; akış yolu tasarımı, işyeri yerleşimi, yükleme/boşaltma noktalarının konumu, aracın hızı ve her iş istasyonundaki kuyruk kapasitesine bağlı olacaktır [30].

3.3.7. Malzeme Taşıma Sistemleri Seçiminde Etkin Olan Kriterler ve Tasarım Özellikleri
Farklı üretim ortamları, farklı taşıma araçlarının seçimini gerektirmektedir. Aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurularak bir seçim yapılması mümkündür.

- Taşınacak malzeme: Taşınacak hammaddenin veya montaj ürününün tipi, hacmi, ağırlığı, şekli ve boyutu
- Maliyetler: Aracın yatırım ve işletme maliyetleri, faiz oranları, yıpranma payı ve aracın ekonomik ömrü
- Depolama: Depolama yerinin alanı, hacmi, şekli ve boyutları, sütunlar ve diğer engeller. Rafların genişlikleri ve depolamaya ilişkin şirket politikaları
- Hareket: Sıklık, yol, koridor boşluğu ve yükleme/boşaltma mekanizması
- Diğer faktörler: Çeşitli işleri yapabilmek ve farklı ürünler üzerinde çalışabilmek için esneklik ve aracın eskimesi

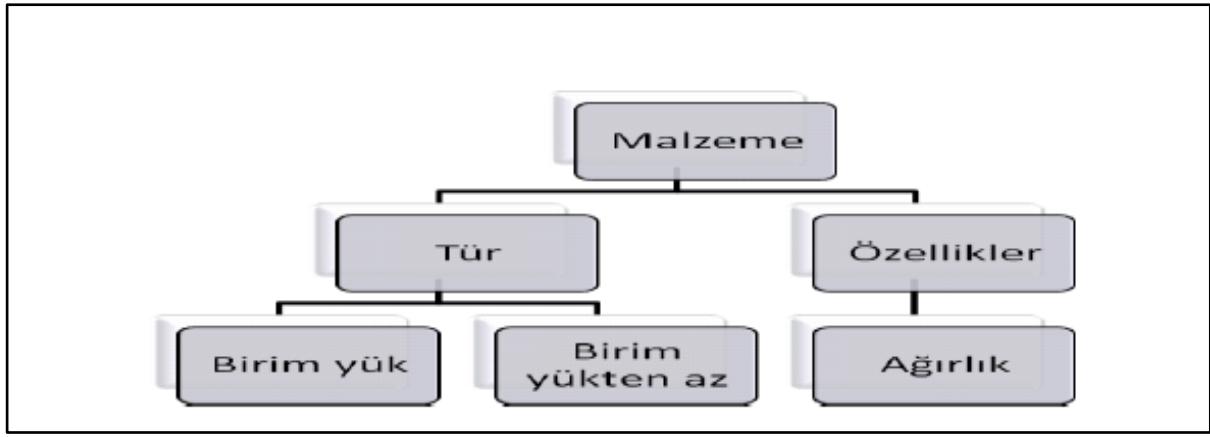
Malzeme taşıma araçlarının seçilmesindeki faktörler, Kasilingam tarafından da şu şekilde belirtilmiştir:

- Kapasite: Ağırlık, hacim, taşınacak malzemenin türü
- Akış yolu: Dolaşım yönü, sürekli veya kesikli malzeme akışı
- Çalışma koşulları: Nem, sıcaklık, tıkanıklık
- Maliyet yapısı: Satın alma maliyeti, işleme maliyeti, bakım maliyeti

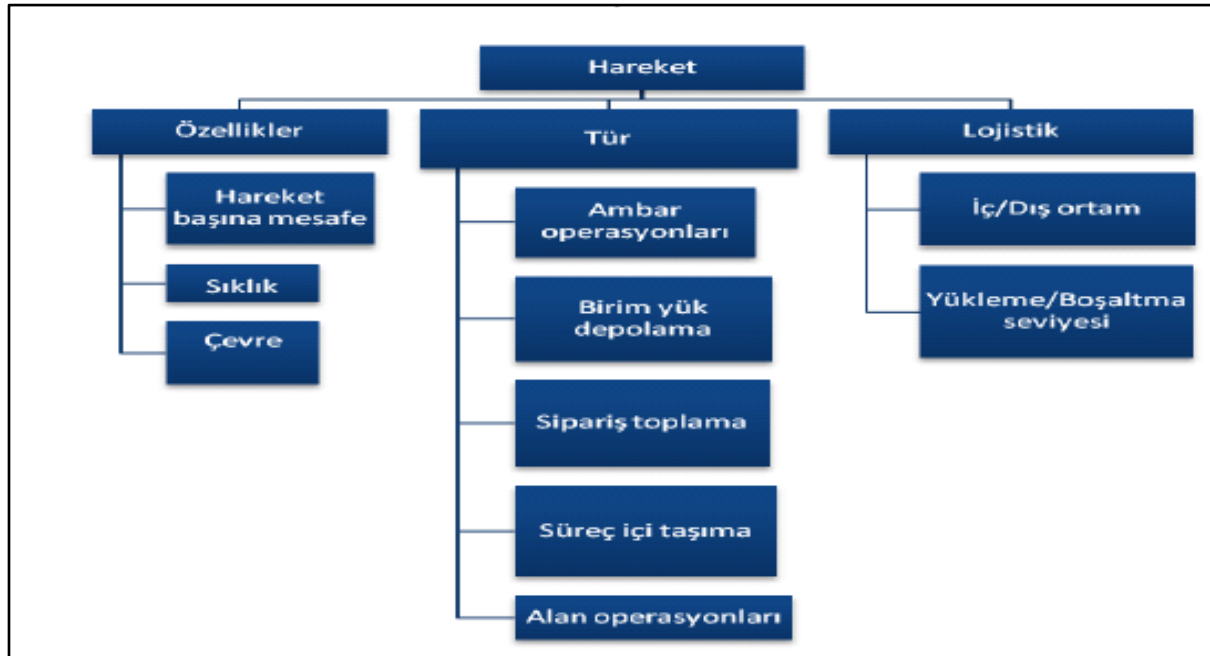
İyi bir tasarımda etkin olan özellikler:

- İyi planlanmış
- Mümkün olduğunca süreçle birleştirilmiş taşıma,
- Mümkün olduğunca mekanik
- En az manuel taşıma
- Üretim personeli tarafından minimum taşıma
- Güvenli
- Sağlanan malzemenin korunması
- Araç türleri arasında minimum değişim
- En yüksek düzeyde araç kullanım oranı
- En az düzeyde geri izleme, taşıma ve transfer
- Olabildiğince az tıkanıklık veya gecikme
- Ekonomik

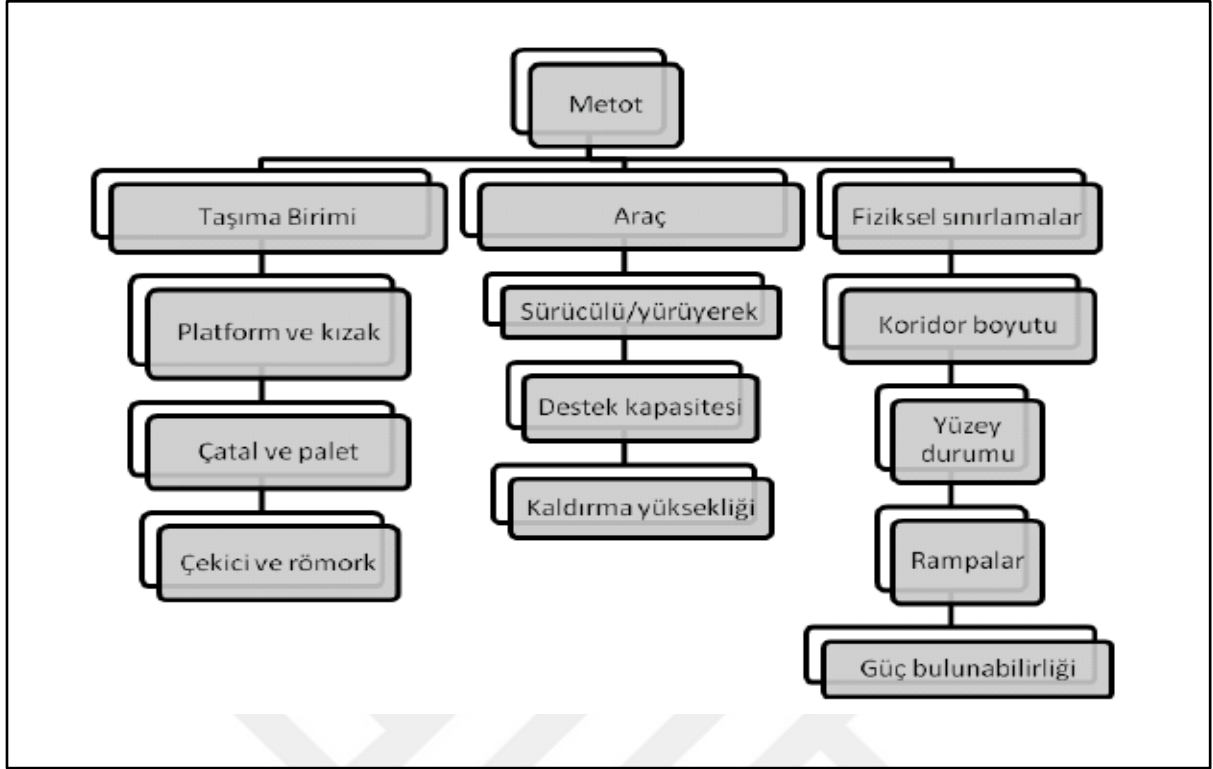
Şekil 3.1’de malzeme taşıma sisteminin malzeme boyutu, Şekil 3.2’de hareket boyutu ve Şekil 3.3’de metot boyutu gösterilmiştir [32].



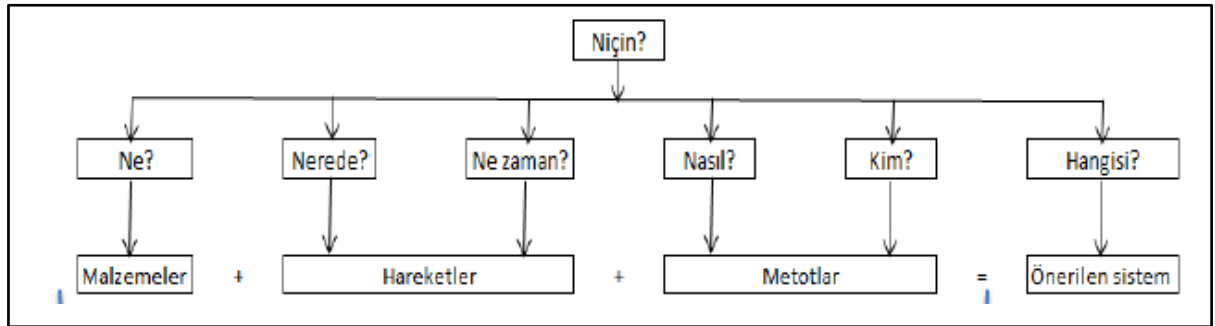
Şekil 3.1 “Malzeme+Hareket=Metot” eşitliğinde malzeme boyutu içeriği



Şekil 3.2 “Malzeme+Hareket=Metot” eşitliğinde hareket boyutu içeriği



Şekil 3.3 “Malzeme+Hareket=Metot” eşitliğinde metot boyutu içeriği



Şekil 3.4 Malzeme taşıma eşitliği

Malzeme taşıma eşitliği, Tompkins ve diğerleri tarafından da Şekil 3.4’deki gibi gösterilmiştir. İlgili şekildeki soru başlıklarının detayları aşağıdaki şekildedir:

“Ne” sorusu:

- Malzemelerin özellikleri nelerdir?
- Taşınacak ve depolanacak miktarlar nelerdir?
- Hareket ettirilecek malzemelerin türleri nelerdir?

“Nerede” sorusu

- Malzeme nereden geliyor? Nereden gelmelidir?
- Malzeme nereye dağıtılıyor? Nereye dağıtılmalıdır?
- Malzeme nerede depolanıyor? Nerede depolanmalıdır?
- Malzeme taşıma işleri nerede elimine edilebilir, birleştirilebilir veya basitleştirilebilir?
- Mekanizasyon veya otomasyonu nereye uygulayabilirsiniz?

“Ne zaman” sorusu

- Malzemeye ne zaman ihtiyaç duyulur? Ne zaman taşınmalıdır?
- Mekanikleştirme ve otomatikleştirme ne zaman yapılmalıdır?
- Malzeme taşıma performans denetimi ne zaman yapılmalıdır?

“Nasıl” sorusu

- Malzeme nasıl taşınır veya depolanır? Malzeme nasıl taşınmalıdır veya depolanmalıdır? Malzemeyi taşımayı ve depolamaya ilişkin alternatifler nelerdir?
- Malzeme nasıl izlenir? Malzeme nasıl izlenmelidir?
- Problem nasıl analiz edilmelidir?

“Kim” sorusu

- Malzeme taşıma sistemlerinin hizmet ve bakımı için kimler eğitilmelidir?
- Malzemeyi taşıyan kim olmalı? Malzeme taşıma işini yapan için gerekli yetenekler neler olmalıdır?
- Sistemin tasarlanması işine kimler dâhil olmalıdır?

“Hangisi” sorusu

- Hangi tür malzemeler taşıma donanımları değerlendirmeye alınmalıdır?
- Hangi malzemeler taşıma sistemi maliyet açısından etkindir?
- Hangi alternatifler tercih edilir?
- Hangi malzemeler taşıma operasyonları gereklidir?

Yalın üretim ortamlarında uygun olan taşıma sistemi, geniş alanlarda esnek hareket edebilen döngüsel seferler yapan kısa trendir. Çizelge 3.3’de malzeme hareketleri ve tercih edilen sistemler gösterilmiştir. Yalın üretim ortamında döngüsel seferler yapan kısa trenin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Birçok stok talep noktasını periyodik olarak besleyebilecek fiziksel kapasiteye sahiptir.
- Kullanılması kolay bir malzeme taşıma aracıdır.
- Takılabilir vagonlarıyla esnek bir kapasitesi bulunmaktadır.

- Yatırım maliyeti çok yüksek değildir.
- Sabit bir alana bağlı olmadığı için, üretim yapısındaki değişikliklere uyum sağlama esnekliğine sahiptir.

Çizelge 3. 3 Malzeme + hareket + yöntemler = tercih edilen sistem

Sistem	Malzeme Hareketi	Tercih Edilen Sistem
Ürüne göre düzenleme	Bir sonraki istasyona aynı rotayla	Konveyör, raylı sistem, asansörler
Sürece göre düzenleme	Bir sonraki makine grubuna / alanına yerden, üstten dikey taşıma	El arabası, forklift, motorlu arabalar, asansörler, elevatörler
Sabit pozisyonlu yerleşim	Depodan üretim alanına	Vinçler, kreyinler, asansörler
Esnek imalat sistemleri	Hücreler arası taşıma, depolama, depo içinde taşıma	Otomatik yönlendirmeli araçlar

Neden sorusu olanla olması gerekeni birbirinden ayırmayı sağlarken; ne ve neden sorularını sormak taşınması gereken doğru materyali tanımlar. Nerede, ne zaman ve neden soruları gerçekleştirilecek hareketlerin gerekli olup olmadığını belirler; nasıl, kim ve neden soruları kullanılacak doğru yöntemi oluşturma imkânı tanır; hangisi ve neden soruları ise tercih edilen tasarımı ortaya çıkarır. Malzeme taşıma problemlerini analiz etmede göz önüne alınması gereken faktörler; malzemelerin tipi, çeşidi, fiziksel özellikleri, taşınacak malzemenin miktarı her bir hareketin başlangıç ve bitiş noktaları, yapılması gereken hareketlerin sıklığı, ekipman alternatifleri, taşınacak birimler ve diğerlerinden oluşmaktadır. Malzeme özellikleri ve hareket ya da akış gereksinimleri materyal akışı olarak adlandırılır. Böylelikle, materyal akış sistemi ihtiyaçlarını geliştirmek için taşınacak, depolanacak ve kontrol edilecek malzeme ve sistemin akış gereksinimleri üzerinde yoğunlaşılmalıdır. Esnek imalatın gerçekleştirilmesi için optimum birim yüklemenin saptanması gerekmektedir. Bunun tespitinde kullanılan veriler; sistem rehber yolu, taşınması gereken malzeme miktarı, materyal aktarma araçlarının hızı, materyal aktarma

araçlarının kapasitesi, aracın boş gezme oranı, aracın beklemesinin ceza maliyeti, materyal aktarma araçlarının sayısıdır [30].

Malzeme taşımada yapılan iyileştirmelerin firmaya sağladığı yararlar aşağıdaki gibidir:

- Maliyetleri azaltır,
- Hasarı azaltır,
- Yerden tasarruf sağlar,
- Ekipmanın faydasını artırır,
- Verimliliğini artırır,
- Çalışma koşullarını iyileştirir.

Malzeme taşımada dikkat edilecek hususlar Çizelge 3. 4'te gösterilmiştir [31]. Malzeme taşımada yapılan iyileştirmeler yukarıda belirtilen yararları sağlamasına rağmen, söz konusu iyileştirmeler aşağıdaki olumsuzluklara da yol açmaktadır:

- Sermaye gereksiniminin artması,
- Esnekliğin azalması
- Bu fayda ve zararlarından ötürü söz konusu alternatiflerin kısa ve uzun dönemdeki etkileri ele alınmalıdır.

Malzeme taşıma faaliyetleri imalat içerisindeki toplam işleme masraflarının %10'u ile %80'i arasında olduğu tahmin edilmektedir. Dahası, etkin bir tesis planlaması ile bu maliyetlerin en azından %10 ile %30 arasında azaltılabileceği genellikle kabul edilmektedir.

Çizelge 3. 4 Malzeme taşımada dikkat edilecek hususlar

Taşınacak malzemenin şekli	Taşınacak malzemenin karakteristiği	Taşınacak malzemenin miktarı	Taşıyıcı kabının cinsi	Taşıma yönü ve uzaklığı	Taşıma hızı	Taşıma Ortamı	Taşıma yeri	Taşıma sıklığı	Taşımada kullanılan insangücü	Taşıma araçlarının cinsi
Katı Sıvı Gaz Ufak taneli İri taneli	Uçucu Yanık Sıcak Kırılgan Bozulan Islak Kirli Yapışkan	Adedi Ağırlığı Hacmi	Kutu Tata Sandık Palet Çuval Balya Şişe	Yatay Düşey Eğik	Düzgün Değişken Senkronize	Zemin Ray Platfo	Ambar İş istasyonu Tesis dışı	Birim andaki taşıma sayısı Düzen derece Belirsizlik özelliği	Aletsiz Basit aletle Tahriksiz araçla Motorlu araçla Uzaktan kumandalı araçla Tam otomatik araçla	Tahriksiz Tahrikli Elektrikli Havalı hidrolik

İÇ LOJİSTİKTE HAT BESLEME YÖNTEMLERİ

Johansson (1991) bir montaj hattına sürekli tedarik, parti şeklinde sevkiyat ve set şeklinde teslimat olmak üzere 3 farklı şekilde malzeme tedariki yapılabileceğini öne sürmüştür. Johansson bu üç kategoriyi iki temele dayandırmıştır. Bunların ilki hatta tüm parça tiplerinin yer alması veya bir kısmının yer almasıdır. İkincisi ise, parçaların parça numarasına mı yoksa montaj ürününe mi göre olduğudur.

Tüm parçaların kendi kutuları içerisinde ve hat kenarında sürekli bir şekilde bulundurulduğu sistem sürekli besleme olarak adlandırılır. Sürekli beslemede parçalar o anda kullanılsa bile hat kenarında stoklanır. Bu nedenle parça çeşidinin az olduğu sistemler için uygundur.

İkincisi ise belirli bir partide gerekli olan parçaların kendi parça kutularında hatta verilmesidir. Bu sistemde farklı bir partiye geçildiğinde, kullanılmayan parçalar depoya geri götürülür. Bu nedenle gereksiz taşımalar sonucu israf oluşmaktadır. Bu besleme tipine parti tipi besleme denir. Üçüncüsü ise sadece montaj için gerekli parçaların az miktarda ve tek bir kutuda hatta verildiği besleme yöntemidir. Bu yöntem set şeklinde teslimat denmektedir.

Bu üç hat besleme şekli aynı anda bir sistemde bulunabildiği gibi genellikle bir tanesi yer alır. 2006'da Johansson tarafından yapılan bir çalışmada sıralı sevkiyat adı verilen bir hat besleme yöntemi belirlenmiştir. Bu sistemde tedarikçiden gelen parçalar montaj sırasına göre hatta verilir, depoya uğramaz [32].

4.1. Sürekli Tedarik

Johansson sürekli tedarik sistemini, malzemenin montaj istasyonlarına elleçlemeye uygun boyutlarda dağıtıldığı ve boşaldığında yeniden tedarik edilerek parça kaplarının doldurulduğu hat besleme şekli olarak tanımlamıştır. Bozer ve McGinnes (1992) sürekli tedarik yerine hat kenarı besleme terimini kullanmışlardır. Bu sistemde her parça, kendi parça kasasında hat kenarındaki raflara teslim edilir. Bu sistemin avantajı parçaların elleçlemeye gerek duymadan

sürekli olarak hat kenarında bulundurulmasıdır. Günümüzde firmaları ürün çeşitliliğini artırmakta bu da parça çeşidinin artmasına ve hat kenarında tüm parçaların stoklanması için gerekli alanın yetmemesine yol açmaktadır. Bu nedenle daha çok çeşitliliğin az olduğu yüksek hacimli üretim ortamları için uygundur. Diğer yandan işgören hatalı bir parçayla karşılığında ek bir işleme gerek duymadan hat kenarı rafından yeni bir parça temin edebilir.

Parça çeşitliliğinin fazla olduğu sistemlerde, hat kenarına tedarik yöntemi kullanılırsa, parçalar hat kenarındaki raflarda yığılacığından stok miktarı ve stok maliyeti artar, işgörenin parçayı almak için araması gerekir. Bu da montajda süre kaybına yol açar [32]. Döngüsel araçlarla yapılan sevkiyat şekli de sürekli tedarik yöntemlerinden biri olarak değerlendirilir ve bu yöntem yalın lojistik içinde en sık karşılaşılan yöntemdir.

4.2. Parti Tipi Besleme

Bu tip malzeme beslemede parçalar hat kenarına belirli ürünler için sağlanır. Başka bir deyişle o partide üretilecek ürünlere ait parçalar hat kenarına verilir ve partideki tüm ürünlerin üretimi tamamlandığında bu parça kasaları depoya geri taşınır. Bir sonraki partinin ürünlerinin parçaları hat kenarına teslim edilir. Bu sistemde israf oldukça fazladır [32].

4.3. Sıralı Üretim

Johansson ve Johansson (1996), sıralı üretimi belirli parçaların belirli ürünler için gruplanmış olarak ardışık şekilde tedarikçiden geldiği gibi hatta verilmesi olarak tanımlamıştır. Sıralama işlemi montaj fabrikasının içinde de olabilir dışında da olabilir. Ürünün seri bir hatta montaj gördüğü ve her istasyonda sadece birkaç parçanın monta edildiği sistemlerde set şeklinde teslimat dezavantaja dönüşmektedir. Çünkü gereğinden fazla malzeme elleçlemeye neden olacaktır. Bu sistemlerin sadece biri kullanıldığı gibi birden fazlası da aynı anda kullanılabilir. Günümüzde, saf sistemlere rastlamak çeşitlilik ve maliyet açısından zordur.

Set şeklinde teslimat kavramı 1980'lerin ortalarında ortaya atılmıştır. Set şeklinde teslimat kavramı daha çok 1990'lardan sonra yoğun ilgi görmeye başlamıştır. Ele alınan çalışmalarda set şeklinde teslimat sistemi birincil olarak hataları azaltmak ve maliyetleri iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Araştırmaların birçoğu set şeklinde teslimat yöntemi ile hat kenarına besleme yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine yapılmıştır. Sıkça ele alınan parametreler ara stok miktarı, temin süresi, örümcek insan sayısı, set hazırlama süresi ve üretim çıktı sayısıdır. İncelenen sistemler çoğunlukla küçük parçalı, manuel sipariş toplama içeren, ürün çeşitliliğinin fazla olduğu sistemlerdir. Uygulanan yöntemlerin birçoğu yazarlar tarafından geliştirilen sezgisel yöntemlerdir. Son yıllarda set şeklinde teslimat özellikle manuel montaj sistemlerinde endüstrinin büyük ilgisini çekmiş ve pek çok uygulama raporu sunulmuştur. Literatürde set oluşturma süreçlerinin tasarımı ve değerlendirilmesi, set halinde teslimat sistemlerinin

performans analizi ve bu sistemlerinin diğer hat besleme yöntemleri ile karşılaştırılması üzerine pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen parçaların ve ürün ailelerinin setlere atanması, parça kümelerinin oluşturulması konusuna yeterli çalışma yer almamaktadır. Üretim süreleri ve makine magazin kapasiteleri dikkate alınarak toplam istasyon sayısını en küçükleyecek şekilde parçaların setlere atanmasını için karışık tam sayılı lineer programlama modeli geliştirmişlerdir. Çok değişkenli problemler içinse parça ve makine seçim kuralları içeren sezgisel bir yöntem önermişlerdir.

Set hazırlama ile ilgili oluşturulan bu matematiksel modellerde model parametreleri, değişken tipleri ve değişken sayısı artıkça modeli çözmek için gerekli süre ve hafıza kapasitesi artmaktadır. Bu nedenle oluşturulan matematiksel modellerin gerçek hayattaki sistemlere uygulanması zorlaşmaktadır. Bu da set oluşturma problemleri ile ilgili matematiksel model yerine daha çok sezgisel model geliştirilmesine yol açmıştır.

Set kavramı literatürde daha çok üretim sistemleri için incelenmiştir. Set kavramını hizmet sektöründe ele alan makale sayısı yok denecek kadar azdır. Firmaların set halinde teslimat sistemlerini uygulama amaçlarını, hat kenarındaki alan gereksinimini ve malzeme taşımalarını azaltmak, kalite problemlerini çözmek, esnekliği ve öğrenme kolaylığını artırmak olarak gruplamışlardır. İsveç endüstrisinde set halinde teslimat sistemlerinin hat kenarını stok alanını azaltmak amaçlı Japon endüstrisinde ise kaliteyi artırma amacıyla kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca set düzeyini belirlemedeki belirsizliğin yani diğer bir deyişle set içerisine konacak parçaların seçiminin set sistemlerindeki en büyük sorun olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra yanlış veya eksik hazırlanmış setlerin malzeme taşımalarını azaltmadığı aksine artırdığı görülmüştür. Bu nedenle setlerin ilk seferde doğru hazırlanıp, doğru yere doğru miktarda ve doğru zamanda teslim edilmesi gerekmektedir. Gecü (2008) otomotiv sektöründe set halinde teslimat sistemini uygulamıştır. Montaj işgöreni için parçaya yürüme, parça seçimi ve karar verme süreçleri ortadan kaldırılarak işgörenin sadece montaj işi ile ilgilenmesi sağlanmıştır. Her bir araç için ihtiyaç duyulan miktarda malzemeler ihtiyaç duyuldukları yere set arabaları ile teslim edilerek hat kenarındaki doluluk azaltılmış ve izlenebilirlik artırılmıştır. Ayrıca parçaların montaj sırasına göre sunulması ve kazanılan boş alanlarda kalite kontrol noktaları oluşturulması parçalardaki hataları azaltmıştır.

Yapılan diğer incelemelerin sonucunda ise set şeklinde teslimat sisteminin ara stok miktarını, temin süresini azalttığı öne sürülmüştür. Hatta çalışan işgöreni destekleyici şekilde eksiksiz ve hatasız hazırlanan setlerin, yeniden işleme sayısını, hurda miktarını ve hatalı parça oranlarını azalttığını ve böylece kalite düzeyini artırdığını göstermiştir. Ancak bu kazançların toplam kalite yönetimi, tam zamanında üretim teknikleri uygulandığında ve üst yönetim desteği

sağlandığında verimli olabileceği konusuna değinmiştir. Bu sistemlerde hazırlık süresinin fazla ve ürün/parça çeşitliliğinin yüksek olmasının, hatalı set oluşturma olasılığını artırdığını gözlemlemişlerdir. Hatalı hazırlanan setlerin ise sistemdeki hurda miktarı, yeniden işleme ve test etme, ara stok miktarlarını ve taşımaları sayılarını artırdığını kaydetmişlerdir. Bu nedenle hata olasılığını azaltmak ve küçük partilerle ekonomik üretim yapabilmek için ürünler arası ortak parça kullanıma izin veren “Ana Set (Master Kit)” kavramını geliştirilmiştir. Ana Set’e göre, aralarında parça paylaşımının en fazla olduğu ürünlere ait parçaların tek sette toplanmasını önermişlerdir [32].

4.4. Set Şeklinde Teslimat

Parçaların ve/veya yarı monteli alt montaj parçalarının yalnızca ihtiyaç miktarı kadar ve özel olarak tasarlanmış kaplarda hattaki kullanım noktalarına teslim ederek gerçekleştirilen hat besleme şekli “set şeklinde teslimat” olarak adlandırılmaktadır.

Belirli bir ürünü ya da üretim siparişini oluşturulan parçaların veya yarı monteli parçaların bir araya getirilerek kondukları özel tasarımlı kutuya “set” denilmektedir. Ronen (1991) tamamlanmış set kavramını belirli bir montajı, alt montajı veya belirli bir süreci tamamlamak için gerekli parçalar, teknik çizimler, dokümanlar ve bilgi kümesi olarak tanımlamıştır. Choobineh ve Mohebbi (2004) ise seti, bir ürünü üretmek veya bir prosedürü tamamlamak için gerekli parçaların ve/veya kullanılan ekipmanların derlemesi olarak tanımlamıştır.

Set ile hat besleme yönteminde, her parça numarasının (stok numarasının) ayrı kutularda hat kenarına teslim edilmesi ve parça kasalarında sunulmasının yerine parçaların daha önceden sınıflandırılmış kaplarda montaj süreçlerine teslim edilmesi ve sunulması yer alır. Her kap bir montaj objesi için gerekli parçaları içerir. Her set genellikle el arabası, kutu, set arabası gibi bir çeşit taşıyıcı içerisinde hatta sunulur.

Seller ve Nof (1986) set kavramını fabrika içerisindeki operasyonlar arasındaki transfer işlemleri ile birlikte tek bir montajı veya alt montajı oluşturan çeşitli parçaların standartlaştırılmış bir kap içerisinde gruplanması olarak tanımlamışlardır.

Oluşturulan setler, üretilecek üründen sadece 1 tane üretebilmek için gereken miktarı içerir. Örneğin araba montaj hatlarında her araç başına bir set oluşturulması bir set şeklinde teslimat örneğidir. Bu nedenle literatürde “birebir ikmal” olarak da yer almaktadır. Ancak, ürünün çok karışık olduğu, çok fazla parçadan oluştuğu veya büyük olduğu durumlarda, ürün alt montaj parçalarına ayrılarak ve her alt montaj parçası için bir set oluşturulur.

Setlerin montajı kolaylaştıracak şekilde oluşturulması çok önemlidir. Bu nedenle işgörenin parçaları ve/veya yarı monteli parçaları setler içerisinde olabildiğince kolay bir şekilde ve parçaya hasar vermeden alabilecek şekilde ve montaj sırası göz önüne alınarak parçalar sete

yerleştirilmelidir. Bunun yanı sıra set içerisine konan parçaların birbirlerinden ayrılabilme özelliği de dikkate alınmalıdır. Böylece montaj sırasında oluşabilecek hatalar önlenmiş olur.

Cıvata, somun, rondela, pul gibi bağlantı elemanları hiçbir zaman set içerisinde yer almaz bunun yerine dökme sevkiyat şeklinde hat kenarına teslim edilir. Buna alternatif olarak bağlantı elemanları, ilgili istasyondaki montaj elemanının kullandığı tüm bağlantı elemanları partiler halinde hazırlanarak hat kenarındaki “chaku-chaku dolly” üzerinde hatta teslim edilir. “chaku-chaku dolly” adı verilen arabalar her işçinin ihtiyacı ayrı ayrı belirlenerek her montaj elemanına bir adet olacak şekilde tasarlanır. Bu araba üzerinde her bağlantı elemanı için bir plastik kutu yer almaktadır. Karışıklığı önlemek için plastik kutular üzerine bağlantı elemanının ismini ve adedini belirtilen etiketler yapıştırılmıştır. Birbirine çok benzeyen bu bağlantı elemanlarını birbirinden ayırmak için her plastik kutuya bir adet örnek yerleştirilmiştir. Bu şekilde seti hazırlayan işgörenin ve montaj işgörenin hata yapması önlenmiştir [32].

Bozer ve McGinnes (1992) set oluşturma operasyonlarını ikiye ayırmışlardır. Bunlar; “müşteri için set (kit-to-customer)” ve “üretim için set (kit-to-manufacturing)” kavramlarıdır. “Müşteri için set”, son (nihai) ürün parçalarının montajsız şekilde montaj talimatları ile beraber set içerisinde müşteriye sunulduğu ve müşterinin seti aldıktan sonra ürün montajını gerçekleştirdiği sistemdir. Bu ürünlere de “montaja hazır ürünler (ready to assemble products)” denilmektedir. Gerekli parçaların beraberce bir set kabı içerisinde çekildiği ve set oluşturulduktan sonra bir alt montaj/montaj veya bir üretim operasyonunda kullanılmak üzere atölyeye teslim edildiği sistemdir. Bu sisteme “montaj için set (kit-to-assembly)” oluşturma da denilmektedir. Montaj hattı için oluşturulan setler endüstri tarafından daha çok ilgi görmüş ve çalışılan makaleler daha çok bu konu üzerinde olmuştur. Tez sadece üretim için oluşturulan set operasyonlarını içermektedir.

Set şeklinde teslimat sistemini doğru şekilde uygulayabilmek için bu sistemde yer alan kavramları doğru algılamak çok önemlidir. Bu nedenle sistemde sıkça söz edilecek bazı kavramlar; parça, yarı monteli parça, son ürün, set yapısı, set parti büyüklüğü, set kabı, parça kasası, set montajı, sabit set, hareketli set, tam zamanında set hazırlama (JIT kitting) gibi kavramlar ele alınmalıdır.

Parça, fabrika içerisinde üretilen veya satın alınan bileşenlerine ayrılamayan parçalardır. Yarı monteli parça (alt montaj parçası), birkaç parça ve/veya alt montaj parçasının montajla birleşmesidir. Son ürün, gerekli tüm montaj süreçlerini tamamlamış daha fazla operasyona gerek duymayan iç veya dış müşteriye teslim edilen üründür. Bir örnekle açıklarsak, bilgisayar üretici firma için ana devre kartı ve monitör alt montaj parçaları, bilgisayar ise nihai üründür. Otomobil üreticisi için, motor yarı monteli parçadır ancak motor fabrikası için nihai üründür.

Kısaca ele alınan parçanın nihai ürün mü yoksa yarı montajlı parça mı olduğunu anlamak için müşteriye bakılmalıdır.

Set içerisindeki parça/yarı monteli parça tipi ve sayısı *setin yapısını* oluşturur. Set şeklinde tedarik sisteminde en sık yapılan hatalardan birisi set yapısının düzgün oluşturulamamasıdır. Setler oluşturulmadan önce hangi parçaların set içerisine konması gerektiği iyice analiz edilmelidir. Set içerisindeki parça miktarı arttıkça malzeme taşımaları azalır ancak set için gerekli alan artar. Bunun için Carlsson ve Hensvold (2008) analitik hiyerarşik süreç metodunu uygulayarak alternatif set düzeyleri arasından optimum düzeydekini belirlemeyi önermişlerdir. Set parti büyüklüğü, eş zamanlı olarak hazırlanan aynı tip set sayısıdır. Set parti büyüklüğü sipariş toplama şeklini etkiler. Set kabı, seti içine koymak için özel olarak tasarlanan kaptır. Set arabası, el arabası, plastik kutu vb. malzemelerdir. Parça kasası ise tek tip bir parçadan/yarı monteli parçadan parça kanbanında belirtilen miktarlarda bulunduğu kaptır.

Set montajı, seti hazırlayan işgörenin, belirli bir seti oluşturmak için gerekli parçaların ve/ yarı monteli parçaların uygun pozisyonlarda ve daha önceden belirlenen miktarlarda set kabına koyması işlemidir. Set montajı sipariş toplama işlemi olarak da düşünülebilir. Sabit set, hazırlanan set örümcek insan tarafından setin kullanılacağı istasyonun kenarındaki set stok alanına bırakılır ve içerisindeki parça bitene kadar hat kenarında kalır. Bu arada ürün ise montaj hattında setten bağımsız şekilde hareket eder. Set içerisindeki parçalar tükendiğinde yine örümcek insan tarafından boş set kutusu alınır ve doldurulmak üzere set hazırlama alanına götürülür. Hareketli set, hazırlanan set montaj hattının ilk istasyonuna teslim edilir ve içerisindeki parçalar tükenene kadar ürünle beraber hat boyunca akar. Set ile ürün aynı kap içerisinde akabileceği gibi farklı bir kap içerisinde ürüne paralel bir şekilde de akabilir. Set arabaları ikinci tip hareketli sete örnektir. Tam zamanında set hazırlama (JIT kitting), setlerin çekme sistemine göre talep geldiğinde sadece kullanılacak miktarda oluşturulması ve direk olarak kullanılacağı montaj istasyonuna gönderilmesidir. Genellikle set talebinin fazla değişken olmadığı durumlarda kullanılır [18].

İç lojistikteki hat besleme tiplerinden sürekli tedarik yöntemi, tezimizin konusu ile yakından ilgilidir. Bir sürekli tedarik yöntemi olan döngüsel sefer taşıma sistemleri, yalın lojistik kapsamında en sık ele alınan taşıma şeklidir. Tezimizin uygulama örneği, beyaz eşya ve otomotiv firmalarına çeşitli boruların tedarikini yapan bir yan sanayi firmasında gerçekleştirilmiştir.

İÇ LOJİSTİK SİSTEMİNİN ANA BİLEŞENLERİ VE LİTERATÜR TARAMASI

Sürekli tedarik yapısının hâkim olduğu üretim tesislerinde çeşitli malzeme ikmal yöntemleri tercih edilebilir. Bunlardan birisi de döngüsel sefer taşıma sistemidir. Bu bölümde yalın lojistik ve döngüsel sefer taşıma sistemlerinin ilişkisi açıklandıktan sonra iç lojistik sistemlerinin tasarımı ile ilgili yapılmış olan çalışmalar, bu tezin yayım tarihine kadar olan tüm çalışmaları içerecek şekilde depo fonksiyonları, malzeme taşıma aracı ve hücreli hareket şeklinde tasnif edilerek gruplanmıştır.

5. 1. Yalın Lojistik ve Döngüsel Sefer Taşıma Sistemi

Baudin (2004)'ün tanımladığı şekilde lojistik, ürün yapmak ve hizmetleri gerçekleştirmenin yerine ürünleri ve hizmetleri dağıtmak için gerekli olan operasyonlardan oluşur. Yalın lojistik, yalın üretimin lojistik boyutudur. Temel olarak üretim lojistiğinin iki amacı vardır. Bunlar etkililik (İng: Effectiveness) ve etkinliktir (İng: Efficiency). Peter Drucker'a göre etkili olmak doğru işleri yapmak, etkin olmak ise israf etmeden yapmaktır. Etkililik “ne” ile ilişkili, etkinlik ise “nasıl” ile ilişkilidir. Etkililik daha önceliklidir. Etkinlikte ise doğru işlerin yapılıp yapılmadığına bakılmaz. Bu durum malzeme yönetiminde de çoğunlukla görülmektedir. Malzeme taşıyıcıların doğru eşyayı, doğru miktarda, doğru zamanda, doğru şekilde taşımalarından ziyade doluluk oranlarına odaklanılmıştır [33]. Bu noktada yalın lojistikte ilk etapta; doğru aracın, doğru ürünün, doğru miktarların ve doğru zaman periyotlarının seçilmesi iyi bir tasarım için gereklidir.

Yalın lojistiğin bir diğer ifadesiyle tam zamanında lojistiğin elemanları; Lai ve Cheng (2009) tarafından, insan kaynakları, lojistik ağları ve üretim, dağıtım, pazarlama ve finansal işlemler

olarak belirtilmiştir [34]. Green ve diğerleri (2010), malzeme taşıma açısından yalın üretim literatüründe amaçların belirlenmesine yönelik belirli bir yöntemin olmadığından bahsetmektedirler [35]. Fakat temel olarak malzeme taşıma sistemlerinin yalınlaştırılması için aşağıdaki adımları sunmaktadırlar:

- Her bir parça için plan oluşturmak
- Satın alınmış parça pazarını oluşturmak
- Dağıtım rotalarını oluşturmak
- Çekme sinyallerini oluşturmak
- Sürekli olarak sistemi geliştirmek

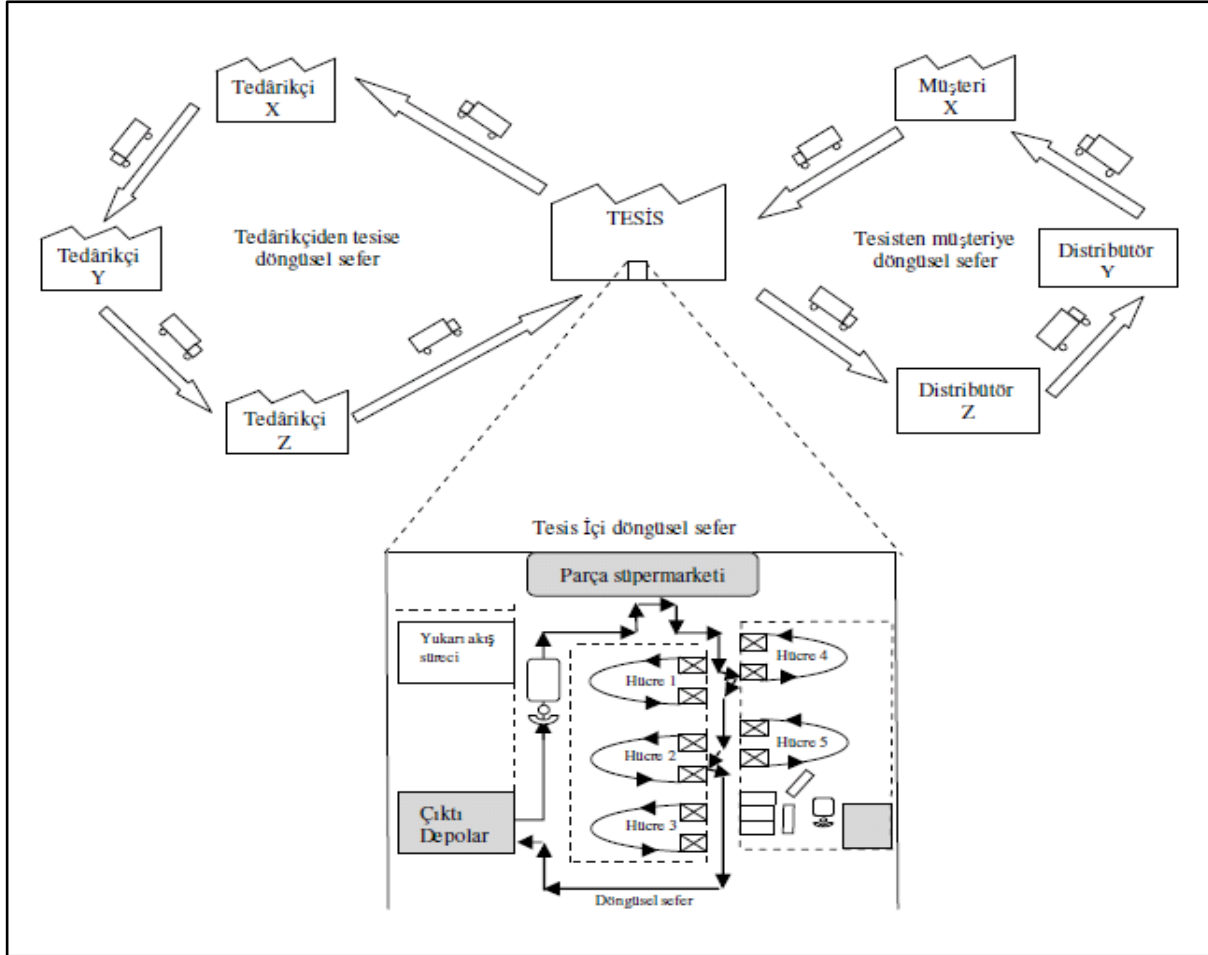
Lojistik içeriği bakımından geniş bir alandır. Sekil 5. 1’de lojistiğin bütünü tedarikçiden tesise, tesis içi ve tesisten kullanıcıya olacak şekilde gösterilmiştir. Tez kapsamında değerlendirmeye alınan konu fabrika içi lojistikdir. Tedarikçiden tesise ve tesisten müşteriye olan lojistik bu tez kapsamında değildir. Tesis içi lojistik kapsamına temel olarak, depo yönetimi ve üretim ortamındaki malzeme taşıma hareketlerinin yönetimi girmektedir.

Depo yönetiminde temel olarak depolama stratejisinin belirlenmesi, depolama araçlarının seçilmesi, daha özelde ise depo alanının büyüklüğü, depo görselliğine ilişkin iyileştirmeler, bölme tahsisi ve indeksleme, deponun ne kadar dolu olması gerektiği, depo envanterinin izlenmesi, otomatik depolama sistemlerinin kurulumu, raf uyumu, nesne numarası veya stok saklama birim numarası, depo envanterinin izlenmesi ile güvenlik ve giriş kontrolü gibi alt konular, depo yönetiminde etkinliğin ve verimliliğinin artırılmasında önem arz etmektedirler [33].

Burada özellikle dikkat çeken ve öne çıkan konu ise süt dağıtımından da esinlenerek isimlendirilen döngüsel sefer sistemidir. Farklı tedarikçilerden ürün karmalarının ayrı ayrı olarak geniş zaman aralıklarında toplanmasındansa sık sık aynı araçla belirli bir rota dâhilinde periyodik olarak toplanmasına dayanmaktadır. Örnek olarak beş tedarikçinin her birine haftalık ayrı ayrı beş araç göndererek gerekli malzemelerin toplanması yerine, günlük olarak bir aracın beş tedarikçiye giderek gerekli malzemeleri toplaması, döngüsel sefer olayı kapsamına girmektedir [35]. Sekil 5. 1’de döngüsel sefer sistemi gerek dış gerekse de iç lojistikte gösterilmiştir. Tez kapsamında içsel döngüsel sefer sistemleri değerlendirmeye alınmaktadır.

Yalın üretim ortamına uygun olan taşıma sisteminin ne olması gerektiği konusunda temel alınabilecek en önemli nokta, israfların ne ölçüde azaltıldığı ve yönetilebilirliğin kolaylaştırılması açısından standart hale getirilebilme yeteneği gibi parametrelerdir. Chase ve diğerleri (1998), otomatik ya da manuel periyodik toplama ve dağıtımların, üretim sisteminin tam zamanında üretim modunda çalışmasına imkân tanıdığını belirtmektedir [37]. Yine Baudin

(2004), taşıma araçlarını tren gibi birbirine bağlamanın ve belirli bir rotadan arabanın hareket ettirilmesi gerektiğinden bahsetmektedir. Bu değerlendirmeler ışığında, yalın üretimin esas alındığı ve tam zamanında üretimin uygulandığı üretim ortamlarında yalın lojistiğin uygulanması için, periyodik hareketler eden bir trenin çeşitli parametreler açısından tasarlanması uygun olacaktır. Bu durum da daha önceden belirtildiği üzere içsel döngüsel sefer sistemiyle ilişkilidir.



Şekil 5. 1 Tedarikçiden tesiste, tesisten müşteriye ve tesis içi döngüsel sefer sistemi

5. 2. İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Depolara İlişkin Çalışmalar

Berg ve Zijm, 1999 temel olarak 3 tip depodan bahsetmiştir. Bunlar dağıtım depoları, üretim depoları ve kontrat depolarıdır. İç lojistikle ilgili olan depo türü üretim depolarıdır.

Gu ve diğerleri, 2007, temel olarak depolama faaliyetlerini dört aşama olarak kabul etmişlerdir. Bunlar kabul aşaması, depolama, sipariş toplama ve sevkiyat aşamalarıdır. Her bir faaliyetin tipik bir depoda işletim maliyeti farklıdır. Frazelle, 2002, kabul aşaması maliyetlerin %15'ini,

depolama aşaması maliyetlerin %20'sini, sipariş toplama aşaması maliyetlerin %50'sini ve sevkiyat da maliyetlerin %15'ini içerdiğini ortaya koymuştur..

Çalışma kapsamında incelenen makaleler genel olarak bu dört aşamadan biri ya da birkaçı üzerinde odaklanmıştır. İncelenen makalelere ilişkin genel bilgiler EK A'da sunulmuş olup 2012 yılından itibaren yayınlanan makaleler ile ilgili bilgiler aşağıdaki şekildedir:

Schmid ve diğerleri (2012), tedarik zinciri yönetiminde ortaya çıkan zengin rotalama problemleri (Rich routing problems arising in supply chain management) konulu makalede lot büyüklüğü, planlama, paketleme, istifleme, stoklama ve intermodaliteye odaklanarak yeni bir araç rotalama yaklaşımına odaklanmıştır. Karma Tamsayı programlamaya dayalı sezgisel bir yöntem kullanılmıştır.

Boysen ve diğerleri (2014), Otomotiv sektöründe yedek parça lojistiği: Karar Problemleri, literatür taraması ve araştırma ajandası (Part logistics in the automotive industry: Decision problems, literature review and research agenda) isimli makalelerinde kavramsal modelleme ile otomotiv sektöründeki yedek parça lojistiğinin tüm boyutlarıyla geliştirilmesi için karar problemleri, literatür araştırması ve araştırma ajandası sunulmuştur.

Korytkowski ve Karkoszka (2015), Döngüsel seferler montaj hattı etkinliği, depo – üretim arası malzeme hareketlerinin etkinliği arttırmaktadır. Yapılan simülasyon çalışması ile takt zamanları, tampon kapasitesi, tedarik süresi analizi yapılmıştır.

Greenwood ve diğ. (2017), Çok seviyeli çerçeve çalışması ile araçların ve operatörlerin fiziksel eylemleri, lojistik faaliyetleri ve stratejik düzey planlama ve karar değişkenleri de dahil olmak üzere üretim sistemlerin işleyişini iyileştirmek amaçlanmıştır.

5. 3. İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Malzeme Tasıma Araçlarına Yönelik Çalışmalar

İç lojistik sisteminin tasarlanmasında malzeme taşıma araçlarının seçilmesi de büyük önem arz etmektedir. Doğru aracı, doğru yerde, doğru zamanda, doğru şekilde ve doğru ürüne yönelik olarak kullanmak, sistemin doğru bir şekilde tasarlanması açısından önemlidir. Temel olarak malzeme taşıma araçları; forkliftler, transpaletler, çek çek araçları, trenler, konveyör ağırları ve otomatik yönlendirmeli araçlardan oluşmaktadır. (Baudin, 2004).

Literatürde iç lojistik tasarımı kapsamında malzeme taşıma araçlarına yönelik olarak yapılan bazı çalışmalar EK A'da sunulmuş olup 2011 yılından itibaren yayınlara ilişkin genel bilgiler aşağıdaki gibidir.

Boysen ve Bock (2011), karma modellenli montaj hatlarının ihtiyaç duydukları parçaların istasyonlardaki parça sayısını en küçükleyecek şekilde kutu sırası belirlenerek merkezi bir depodan forkliftlere yklenmesi problemini incelemişlerdir. Dinamik tavlama ve tavlama benzetimi çözüm yöntemleri kullanılmıştır.

Kılıç ve diğerkleri (2011), karma tam sayılı modeller kullanarak zaman periyodunun belirli olduğu bir model ve bir araca birden fazla rota atama durumu ile üretim ortamında araç rotalama çalışması yrtmtır.

Pillac ve diğerkleri (2012), dinamik araç rotalama problemlerine ilişkin bir görüş (A review of dynamic vehicle routing problems) konulu makalede dinamik ve deterministik bir model ile dinamik araç rotalama problemlerine dair uygulama ve çözüm yöntemlerine ilişkin kapsamlı bir inceleme sunulmuştur.

Gyulai ve diğerkleri (2013), üretimde süpermarket lojistiği için döngüsel araç rotalamaya dair bir görüş (Milkrun Vehicle Routing Approach for Shop-floor Logistics) konulu makalede başlangıç çözümü sezgiseli ve yerel arama metodunu kullanılmıştır. ARP yaklaşımıyla lojistik araçlarının sınırlı kapasitesi ve zaman kısıtı altında lojistik faaliyetlerin üretimi hatasız bir şekilde destekleyebilmesi için yeni araç rotalama yaklaşımları önermiştir.

Ma ve Wei (2013), tedarik ve üretim lojistiğinde etkin bir araç rotalama yaparak otomotiv sektörü için yedek parça hareketlerinin üretimi daha hızlı besleyebilecek bir şekilde yapılması hedeflenmiştir. Bu makalede zaman pencereleli araç rotalama probleminden faydalanılmıştır.

Alnahal ve Noche (2014), karma modellenli montaj hatlarındaki dinamik malzeme akışının kontrolü (Dynamic material flow control in mixed model assembly lines) isimli makalede kısa trenlerin kullanıldığı bir üretim ortamında araç rotalama, yükleme ve programlama sürecini kolaylaştırmak amaçlanmıştır. Çalışmada aynı zamanda makine arızası, hat durması ve arızalı parçalar gibi sorunlu durumlara odaklanılmıştır. zm yöntemi olarak talep odaklı ve e-kanban sistemlerinin karışımından oluşan bir stratejiden faydalanılmıştır.

Zhang ve diğerkleri (2014), gerçek zamanlı ve çok kaynaklı üretim verilerine dayalı süpermarket malzeme ellelemelerine dair bir optimizasyon metodu isimli makalede (An optimization method for shop floor material handling based on real-time and multi-source manufacturing data) otomatik tanımlama teknolojilerinin sağladığı gerçek zamanlı bilgi alıverii ile malzeme elleçleme görevlerinin optimizasyonu amaçlanmıştır. Dinamik optimizasyon modellemeden faydalanılmıştır.

Ucar ve Bayrak (2015), Bu çalışmada süpermarket tipi üretim ortamındaki küçük dahili depoların ve iç taşıma faaliyetlerinin ergonomik açıdan geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Schmidt ve diğ. (2016), Döngüsel sefer ile taşıma her ne kadar yüksek taşıma kapasitesi, iş gücü tasarrufu, birden fazla değişik noktadaki teslimatı kısa sürede sağlasa da diğer taşıma yöntemlerinin aksine planlaması daha zordur. Bu çalışmada bu zorluğu aşmak için literatür araştırması sunulmuştur.

Yılmaz ve diğ. (2017), Uygun malzeme taşıma ekipmanı ve doğru hat besleme yönteminin seçilebilmesi için bulanık analitik ağ prosesinden faydalanılmış ve sonuçlar bir montaj tesisinde canlı olarak test edilmiştir.

5. 4. İç Lojistik Tasarımı Kapsamında Hücresel Yerleşim Düzeni ve “Depo- Hücre”, “Hücre-Hücre” ve “Hücre-Depo” Arası Akışlara Yönelik Çalışmalar

Çalışma kapsamında ele alınan bir diğer alt konu da hücresel yerleşim ile depodan hücreye, hücreden hücreye ve hücreden depoya olan akışları içeren literatürün incelenmesidir. Bu kapsamda 2012’den itibaren incelenen makaleler aşağıda verilmiştir. Bu kapsamdaki diğer makalelere EK A’da yer verilmiştir.

Seebacher ve diğerleri (2014), Otomatik tanımlama teknolojileri ve simülasyon yardımıyla üretim lojistiğindeki zaman kayıplarının azaltılması ve iş akışlarının doğru modellenmesi amaçlanmıştır.

Saez-Mas ve diğ. (2018), Hareketli araç gövdelerinin boyahaneden montaj hattına taşınması işleminin uygun sıralama ile gerçekleşmesi örnek uygulaması ve yerleşim düzeninin değerlendirildiği örnek uygulamasına göre yapılan simülasyon çalışması ile farklı operasyon katmanlarının taşıma verimliliği ilişkisi incelenmiştir.

5. 5. İç Lojistik Sisteminin Temel Bileşenlerine Yönelik Yapılan Literatür Araştırması Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi

Yalın üretim ortamında iç lojistik sisteminin tasarımı kapsamında incelenen yayınlar; depolara ilişkin çalışmalar, malzeme taşıma araçlarına yönelik çalışmalar ve hücre yerleşimi ile hücreler arası akışlar olmak üzere üç bölümde incelenmiştir. İncelenen bu bölümlere ilişkin özet çizelge EK A’da ortaya konulmuştur.

Değerlendirilen 78 makalenin 28’i depolamayı, 31’i malzeme taşıma araçlarını ve 19’u da hücre yerleşimi ve hücreler arası akışı içermektedir Bazı makaleler birden fazla konu ile ilgilidir.

YALIN LOJİSTİKTE AKSİYOMLARLA TASARIM METODOLOJİSİ VE LİTERATÜR TARAMASI

Müşteri istekleri, beklentileri ve rekabetin arttığı günümüzde firmalar müşteri isteklerini en düşük maliyet kalemleriyle gerçekleştirerek, karlılıklarını yüksek tutmak istemektedir. Firmalar için önemli maliyet kalemlerinden biri olan lojistik faaliyetleri de firmaların yalın dönüşüm içerisinde geliştirmek istedikleri ve maliyetlerini azaltmak istedikleri önemli bir alandır. Yalın lojistik tabanlı taşıma sistemleri, kayıpları ve israfları yok ederek, müşteri isteklerini daha düşük maliyetle karşılayabilme yeteneğine sahiptir.

Literatürde yalın lojistiği, yalın lojistik tekniklerini ve rekabet ortamındaki önemini açıklayan çeşitli yayınlar bulunmaktadır. Bununla beraber, mevcut taşıma sisteminden, yalın lojistik tabanlı bir taşıma sistemine dönüşüm sürecinde tasarımcıya bütünsel bir yol gösteren çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile mevcut taşıma sistemini yalın sisteme dönüştürmek isteyen bir tasarımcıya veya proje ekibine rehber niteliğinde olabilecek aksiyomlarla tasarım ilkelerine göre bir yöntem hazırlanmıştır. Ayrıca, uygulama aşaması sonucunda elde edilen sonuçlarla seçilen performans ölçütlerine göre sistemin hedeflenen değerlerini karşılaştırarak, sistemin gelişimini sağlayan performans değerlendirme prosedürü de aksiyomlarla tasarım ilkeleri kullanılarak tasarlanmıştır.

6.1. Yöntem Hakkında Genel Bilgi

Yalın lojistik tabanlı sistem tasarımı çalışmasının gerçekleştirilmesinde kullanılan yol haritası Şekil 6.1’de gösterilmektedir. İlk aşama olan ön hazırlık aşamasında, müşteri isteklerinin doğru olarak algılanması, proje kapsamında çalışacak olan takımın belirlenmesi ve katılımın

sağlanması adımları yer almaktadır. Bu aşamada belirtilen temel faaliyetlerin ön hazırlık aşamasında gerçekleştirilmesi, projenin başarılı olmasında oldukça önemlidir.

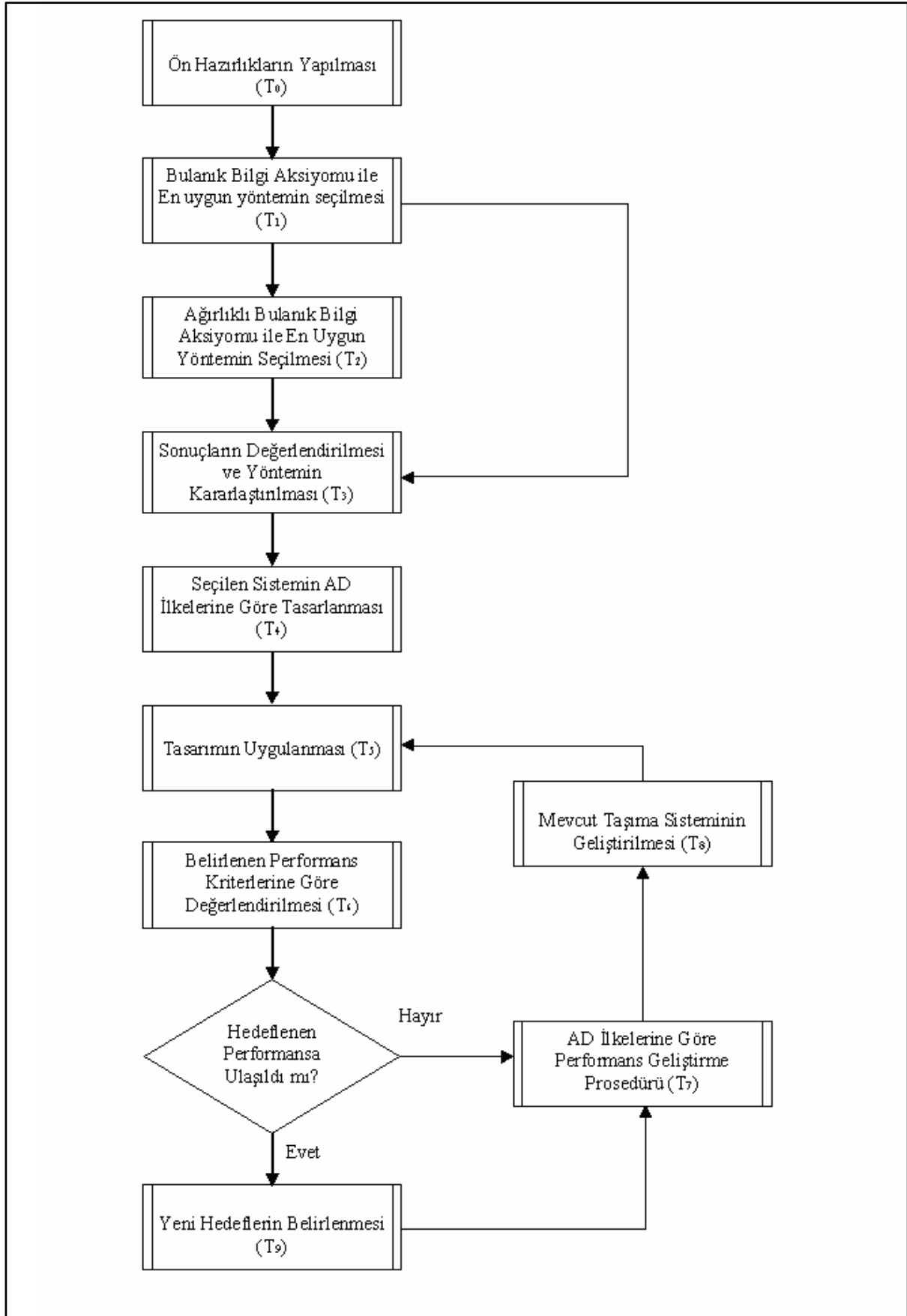
Ön hazırlık aşamasının tamamlanmasından sonra yalın lojistik tabanlı sistemin AD yöntemiyle tasarlanabilmesi için en uygun taşıma yönteminin seçilmesi aşamasına geçilecektir. Bu aşamada, uygulamada kullanılabilecek alternatif taşıma yöntemleri içinden ön hazırlık aşamasında elde edilen müşteri istekleri doğrultusunda en uygun taşıma yöntemi seçilecektir. Seçim çalışmasının gerçekleştirilmesinde bulanık bilgi aksiyomu kullanılacaktır.

Bulanık bilgi aksiyomu yöntemi ile yapılan seçim çalışmasının ardından, seçim aşamasında kullanılan kriterlerinin ağırlıklandırılmasıyla gerçekleştirilen ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yöntemi kullanılarak, en uygun taşıma yöntemi seçilecek ve bu çalışmanın yapılmasında bulanık bilgi aksiyomu çalışmasından elde edilen sonuçlar kullanılacaktır. Bulanık bilgi aksiyomu yönteminde, seçim kriterlerinin ağırlıklarının aynı olduğu kabul edilmektedir. Ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yönteminde ise seçim kriterleri değerlendirmeyi yapacak proje takımı tarafından ağırlıklandırılabilir. Böylece her iki durumda da ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılabilir ve seçim kriterlerinin ağırlıklandırılmasının sonuç üzerindeki etkisi belirlenebilecektir.

Bir sonraki aşamada bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, AD yöntemi ile gerçekleştirilecek tasarım için en uygun yöntemi kararlaştırılması yapılacaktır.

Ön hazırlık ve en uygun yöntemin seçilmesi aşamalarından sonra sistemin tasarlanması ile ilgili adıma geçilir. Tasarım çalışması AD yöntemi, bağımsızlık aksiyomu kullanılarak gerçekleştirilecektir.

Yalın lojistik tabanlı sistemin tasarımı için gerekli çalışmaların yapılmasından sonra uygulama aşamasına geçilir. Uygulama sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen performans sonuçları dokümanite edilir ve hedeflenen performans değerleri ile karşılaştırılır. Hedef değerlerden daha düşük performans değerlerinin geliştirilmesi veya başarılı sayılabilen performans değerleri için de sürekli gelişimin elde edilmesi için aksiyomlarla tasarım ilkelerine göre hazırlanmış sistem geliştirme prosedürü kullanılır. Kullanılacak olan sistem geliştirme prosedürü neticesinde ihtiyaç duyulan düzenlemeler gerçekleştirilerek, geliştirilmiş “Yalın Lojistik Tabanlı Sistem” elde edilmiş olur. Şekil 6.1 geri beslemeli yalın taşıma sistemi tasarım prosedürünü göstermektedir.



Şekil 6.1 Geri beslemeli yalın iç taşıma sistemi tasarım prosedürü

6.2 Ön Hazırlık Aşaması (To):

Müşteri Sesinin Dinlenmesi: Ön hazırlık safhasının ilk aşaması müşteri sesinin dinlenmesidir. Müşteriler her türlü hizmeti daha kaliteli, daha düşük fiyatla, daha düşük temin süresi ve belirlenen spesifikasyonlarla talep etmektedirler. Dolayısıyla günümüzde rekabet ortamının güçlü olması, firmaların alışkanlıklarını ve iş yapma şekillerini, verimlilik arttırıcı, maliyet azaltıcı tekniklere veya müşteri taleplerine adapte etmeye zorlamaktadır. Bu aşamanın doğru ve tam olarak anlaşılması, hem ulaşılmak istenen noktanın net olarak anlaşılmasını hem de bundan sonraki çalışmaların hedef doğrultusunda doğru olarak organize edilmesini sağlayacaktır. Dönüşüm projesi için müşterinin talep ettiği temel kriterlerin neler olduğu, hangi aşamalarda değişikliklerin istendiği ve müşterinin çalışma sonunda mevcut durumdan hangi noktalara ulaşmak istediği net olarak belirlenmeli ve proje kapsamında ilgili tüm kişilere aktarılmalıdır.

Proje Ekibinin Belirlenmesi: Yalın lojistiğe dönüşüm süreci boyunca, bilgilerin toplanmasını, analizini, dönüşüm çerçevesinde değiştirilecek noktaların belirlenmesini, dönüşüm stratejisinin tespit edilmesini, uygulamanın gerçekleştirilmesini ve kontrollerin yapılmasını sağlayacak bir proje ekibi gereklidir. Proje ekibinde yer alan üyeler ve ünvanları; sponsor, proje lideri, danışmanlar ve proje üyeleridir.

-Sponsor: Projeyi finanse eden veya proje için gerekli kaynakları sağlayan kişi veya kurumdur. Projenin sahibi olan kişidir. Projenin yönetiminden, tüm işleyişinden sorumlu olan kurumdur. Bu kurum bir metro projesinde belediye olurken, şirket içi bir kalite projesinin sponsoru ise bu projenin doğal sahibi olan kalite güvence bölümü yöneticisi olabilir. Projenin sponsoru projenin patronluğunu da yapmaktadır.

-Proje Lideri: Projenin sponsoru tarafından belirlenmektedir. Proje lideri, projenin yönetilmesinden, görev dağıtımlarının yapılmasından, projenin takip edilmesinden sorumludur ve her türlü durumda proje üyeleri tarafından ilk bilgi verilmesi gereken kişidir.

-Danışmanlar: Firmanın çalışanı olmayan, firma dışından projeye katılan ve çalışılan konu üzerinde daha önce uygulama deneyimi olan kişi veya kişilerden seçilir.

-Proje Üyeleri: Proje kapsamında çalışacak olan kişiler proje üyeleri olmaktadır. Proje üyeleri gerçekleştirilecek projenin kapsamına göre tek bir departman veya uzmanlık alanından olabileceği gibi farklı departmanlardan ve uzmanlık alanlarından gelen çalışanlardan da olabilmektedir. Proje üyeleri üst yönetim tarafından belirlenen hedefleri gerçekleştirmek için çalışacak ve uzmanlık alanının kapsamındaki noktalarda gerekli bilgileri aktaracaktır.

Katılımın ve Gerekli Desteğin Sağlanması: Proje ekibi tarafından gerçekleştirilecek çalışmalarda firmadaki tüm çalışanların desteğinin alınması çok önemli olacaktır. Bu durumda tüm çalışanlar fikir ve önerileriyle proje ekibine destek olacak, firma bütünsel bir yapıyla hedefe doğru ilerleyecektir. Aksi takdirde proje ekibi istediği bilgileri ve desteği alamayacağı için başarı elde edebilme yüzdesi azalacak ve projenin tamamlanma süresi uzayacaktır.

6.3 Bulanık Mantık

Bulanık mantık, çok net olmayan mantığa dayalı önermelerin, mantık süzgecinden geçirilerek incelemesinin yapıldığı bir metot olarak adlandırılabilir. İngilizce “fuzzy logic” kelimeleri ile ifade edilir. Bulanık mantık, 1965 yılında Azeri asıllı akademisyen Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmış ve günümüze gelmiştir. Zadeh’in Bulanık Mantık’ı ortaya koyduğu andan itibaren 15.000’e yakın bilimsel makale yayımlanmıştır. Öncesinde ise Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz’in 1930 yıllarında klasik mantıkta kullanılan ikili mantık sistemi “doğru” veya “yanlış” değerlerini üçlü mantık sistemine oturttuğu görülür.

Klasik mantık sistemleri, bulanık mantığın aksine belirsizlikle ilgilenmezler. Bir başka ifade ile bulanıklık, doğruluk ölçütünün keskin bir şekilde tanımlanmamasından kaynaklanan durumlardaki problemlerle uğraşmak için ideal bir yöntemdir [38].

Bulanık mantık, bir şey hakkında yargı ortaya atarken, bu yargıyı oluştururken dayandığı matematiksel sınıflandırmaların ne kadar içinde ne kadar dışında olduğundan bahseder ve verinin ne kadar o yargı kümesine ait, ne kadar ait olmadığı bilgisine dayanarak, o veriye yeni bir tanım getirir.

Bulanık mantık küme teorisinde üyelik derecesi kavramını geliştirmiştir. Örneğin gençler kümesine 25 yaşındaki bir insan %100 üye iken, 60 yaşındaki bir insan %30 üyedir şeklinde ifadeleri vardır. Böylesine bir açılım subjektif verilere dayansa da kazandırdığı esneklik ve gerçek hayat olaylarına daha iyi çözüm önerebilme itibarıyla çok taraftar toplamıştır [39].

1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile bulanık kavram ve sistemler, dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat kazanmıştır. Bu araştırmacılar ilk defa bir buhar makinesi kontrolünün bulanık sistem ile modellemesini başarmış ve böylelikle, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ama sonuçlarının da ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır [40].

Daha sonraki yıllarda bulanık sistem uygulaması bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolü için yapılırken, artık bulanık kavramlar dünyanın birçok yerinde yavaş yavaş

kullanılmaya başlanmıştır. Bu faaliyet, Batı'da çok yavaş olurken, Doğu'da ve özellikle Japonya, Singapur, Kore ve Malezya'da kendisini fazlaca göstermiştir. İlerleyen yıllarda, özellikle 1980'lerden sonra elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda bulanık mantık kullanımında fazlasıyla artış olmuştur. Son yıllarda, birçok mühendislik dallarında, veri tabanlarının sözcükleştirilmesinde ve birçok konularda kullanılır hale gelmiştir [41].

Bulanık mantık matematiği ile klasik matematik arasındaki temel fark bilinen anlamda, klasik matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişiyi 38,5 yaşında yerine sadece orta yaşlı olarak ifade etmek, birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir.

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise “insana özgü tecrübe ile öğrenme” olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için uygundur. Bulanık mantık yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsezilerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir [42].

Japonya'da bulanık mantık konusunda oldukça fazla araştırma yapılmıştır. Özellikle “fuzzy process controller” olarak isimlendirilen özel amaçlı bulanık mantık mikroişlemci çipinin üretilmesine çalışılmaktadır. Bu teknoloji fotoğraf makineleri, çamaşır makineleri, klimalar ve otomatik iletim hatları gibi uygulamalar ile uzay araştırmaları ve havacılık endüstrisinde de kullanılmaktadır. Yine bir başka uygulama olarak otomatik civatalamaların değerlendirilmesinde bulanık mantık kullanılmaktadır. Bulanık mantık yardımıyla civatalama kalitesi belirlenmekte, civatalama tekniği alanında bilgili olmayan kişiler açısından konu şeffaf hale getirilmektedir.

Bulanık mantık ile çalışmanın tercih edilmesinin nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [43]:

- Bulanık mantığın anlaşılması kolay ve dayandığı matematiksel teori basittir.
- Bulanık mantığı çekici kılan şey yaklaşımının doğallığı ve kompleks ya da karmaşıklığından uzak olmasıdır.

- Bulanık mantık esnektir.
- Eksik ya da yetersiz verilerle işlemler yapılabilir.
- Bulanık mantık karmaşık ve lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilir.
- Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanılır.
- Bulanık mantık sıradan insanların günlük işlerinde kullandığı dili kullanır. Bu da bulanık mantığın en büyük avantajıdır.

6.3.1 Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar

Bulanık sistemler genel olarak, mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan sistemlerdir. Bu sistemlerin en büyük avantajı insan deneyimlerinin ve sözel verilerin bulanık sayılar yardımıyla, bulanık modele katılması ile çözüme ulaşılmasıdır. Bulanık çıkarım sistemi olarak da adlandırılan bu model, bulanık eğer-ise kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan bir sistemdir [43].

6.3.1.1 Bulanık Kümeler

Bulanık küme kavramı, Zadeh'in klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki pek çok sistemle uğraşırken yetersiz kalmasından hoşnut kalmayışından doğmuştur. Zadeh, bu noktada ikili üyelik fonksiyonuyla ifade edilen klasik kümeler yerine, dereceli üyelik fonksiyonuyla ifade edilen bulanık kümeler tanımlamasını öne sürmüştür. Bulanık küme kuramı, 'belirsizlik' in bir tür biçimlenişi, formüllendirilmesidir. Bir çeşit çok-değerli küme kuramıdır. Fakat işlemleri, diğer küme kuramlarınıninkilerden farklılıklar gösterir. Kümedeki her bir birey, çift-değerli küme kuramlarında olduğu gibi "üye" ya da "üye değil" olarak değil de, bir dereceye kadar üye olarak görülür.

Bulanık küme kavramı, hassasiyetin arttırılması açısından, klasik kümelerinkine göre daha uygun olan yeni bir araç sağlamakta, iki-değerli üyeliği çok-değerliliğe taşıyarak genellemesini yapmaktadır [44]. Aristo mantığına göre insanlar boy bakımından ya uzundur ya değildir. Hâlbuki Zadeh yaklaşımına göre uzun boyluluğun değişik dereceleri vardır. Uzun boylulardan bir tanesi gerçek uzun boylu olarak esas alınırsa ondan biraz daha uzun veya kısa olanlar uzun boylu değil diye dışlanamazlar. Esas alınan uzun boyluluğun altında ve üstündeki boylar o kadar kuvvetli olmasa bile, uzun boyluluğa ait olma derecesi biraz daha az olmakla beraber, yine de uzun boylular kümesine girmektedir. Böylelikle dünyadaki tüm insanlar kümesindeki insanların teker teker boy açısından birer uzunluk üyelik derecelerinin bulunduğu söylenebilir.

Yine Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışlagelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1'e, ait olmamaları durumunda ise 0'a eşit var sayılmıştır. İkisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. Yani klasik küme kavramında bir eleman bir kümenin üyesidir veya değildir. Hâlbuki bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Böylece bulanık kümelerindeki öğelerin üyelik derecelerinin kesintisiz olarak 0 ile 1 arasında değerler aldığından söz edilebilir. Aslında Zadeh'in ileriye sürdüğü bulanık kümeler kavramının özellikle 1980 yılı sonrasındaki teknoloji ve bilimsel çalışmalarda büyük etkisi olmuştur. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık söz için üç temel özelliği sağlaması tanım olarak gerekmektedir. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Bulanık kümenin normal olması gerekir. Bunun için en azından o kümede bulunan öğelerden bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekliliğidir.
- Bulanık kümenin monoton olması istenir. Bunun anlamı üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.
- Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olması gerekir. Buna da bulanık kümenin simetriklik özelliği adı verilir.

Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşın, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır.

Bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlaması gerekmemektedir. Çoğu durumda insanlar sayısal bilgileri hassas bir şekilde tanımlayamazlar. Örneğin “yaklaşık 55”, “0”a yakın”, “6000”den büyük” gibi bulanık sayılar kullanırlar. Bulanık alt kümeler teorisi kullanılarak, bu bulanık sayılar gerçel sayılar kümesinin bir bulanık alt kümesi olarak tanımlanabilir. Bulanık bir A sayısı en azından aşağıdaki üç koşulu sağlamalıdır [45]:

- A normal bir bulanık küme olmalıdır,
- A dışbükey bir bulanık küme olmalıdır,
- A'nın desteği, $0+ A$, sınırlı olmalıdır.

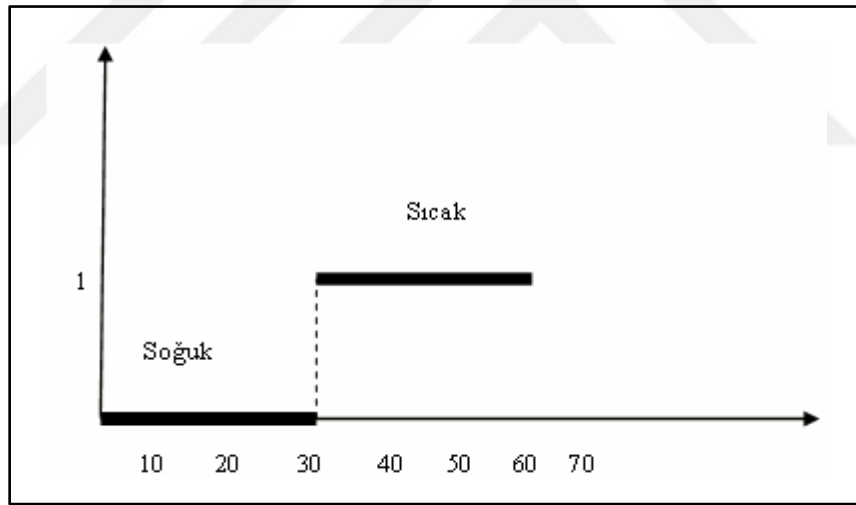
6.3.1.2 Bulanık Sayılar

Bir bulanık sayı, bulanık kümeler arasında ve gerçek sayıların bulunduğu yer içerisinde tanımlıdır ve orijinal olarak ölçülen değişkenlerin genel bir ölçüğe dönüştürülmesi için kullanılır [45].

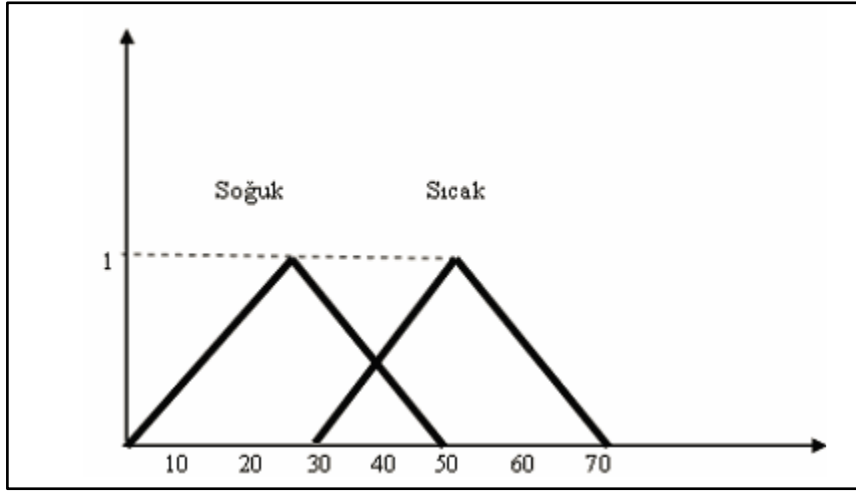
Bulanık sayılar, 1 olarak tanımlanan bir küme içerisindeki maksimum üyelik anlamındaki normallik özelliğine sahiptir ve bu özellik, yeni bir ölçüm skalası tanımlamak için kullanılır. Cebirsel ve aritmetik işlemler, “uzatma prensibi” ile bu kümelerde bir analogi şeklinde tanımlanabilir.

Bulanık sayı kavramı, bir standartlaştırma aracı olmakla kalmayıp, aynı zamanda sözel değerleri de bir karar prosesi içinde birleştiren bir yapıdır. Bulanık sayılar aslında sözel değerleri betimlemekle birlikte, geleneksel bir anlayış içerisinde ele alarak, temel bir değişkene doğru ilerlemektedir [44].

Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te sırasıyla soğuk ve sıcak kavramlarının klasik ve bulanık mantıkta karşılık gelen üyelik fonksiyonları gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Klasik mantık modeli



Şekil 6.3 Bulanık mantık modeli

Üçgensel bulanık sayılar, a_2 büyüklüğü kesinlikle gösteren sayı, a_1 ve a_3 büyüklüğün alt ve üst sınırlarının kabul edilebilir değerlerini gösteren sayılar olmak üzere, (a_1, a_2, a_3) gibi ölçüler ile gösterilir.

$A = (a_1, a_2, a_3)$ şeklinde bu üçgensel sayı için üyelik fonksiyonu ise;

(6.1)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & a_3 < x \end{cases}$$

şeklinde gösterilmektedir.

U , elemanları “ x ” ile gösterilen bir evrensel küme olarak tanımlansın. U ’nun klasik bir alt kümesi olan A için üyelik, μ_A karakteristik fonksiyonu ile gösterilir ve $\{0, 1\}$ arasında aşağıdaki gibi değişmektedir:

(6.2)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } x \in A \text{ ise} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

Eğer küme değerinin gerçekten $[0,1]$ aralığında olmasına izin verilirse, A kümesi “Bulanık Küme” olarak isimlendirilir. $\mu_A(x)$, x in A kümesi içindeki “üyelik derecesi”dir ve $\mu_A(x)$ ’in 1’e yakın değerleri için x’in A kümesine üyeliği artar. A bulanık kümesi, düzenli ikililer kümesi ile karakterize edilmiştir.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (6.3)$$

Zadeh, burada aynı zamanda aşağıdaki gösterim şeklini de önermiştir. X sonlu bir küme olduğunda A bulanık kümesi $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ şeklinde belirtilir.

6.3.1.3 Bulanık Sayılarda İşlemler

Bulanık sayılardaki işlemlerde, yaklaşık sonuçlar veren aritmetik işlemler ve güven aralıkları ile aritmetik işlemler olarak iki önemli başlıkta incelenebilir.

$A = (x_1, x_2, x_3)$ ve $B = (y_1, y_2, y_3)$ şeklinde iki tane üçgensel bulanık sayı olduğu varsayılırsa bu sayılar üzerinde bazı kavramları açıklığa kavuşturulabilir.

- Eşitlik: A ve B bulanık sayılarının karşılıklı olarak bütün elemanların eşitliğini göstermektedir. Bu $A = B$ ise,

$$(x_1, x_2, x_3) = (y_1, y_2, y_3) \text{ ise } x_1 = y_1, x_2 = y_2, x_3 = y_3 \quad (6.4)$$

şeklinde açıklanabilir.

- Toplama:

$$A(+)B = (x_1 + y_1, x_2 + y_2, x_3 + y_3) \quad (6.5)$$

olarak ifade edilmektedir.

- Çıkarma:

$$A(-)B = (x_1 - y_3, x_2 - y_2, x_3 - y_1) \quad (6.6)$$

şeklinde gösterilmektedir. Sonuç yeniden üçgensel bir bulanık sayı olmaktadır.

- Üçgensel Bulanık Sayının Simetriği: $A = (x_1, x_2, x_3)$ üçgensel bulanık sayı olarak ele alınırsa, bu sayının simetriği şöyle olacaktır,

$$-(A) = (-x_1, -x_2, -x_3) \quad (6.7)$$

Çarpma ve bölme işlemleri yalnızca alt sınır değeri pozitif olan pozitif bulanık sayılar üzerinde tanımlanmaktadır.

- Çarpma:

$$AB (x \otimes \cong 1 . y_1, x_2 . y_2 , x_3 . y_3) \quad (6.8)$$

- Bölme:

$$A : B \cong \left(\frac{x_1}{y_3}, \frac{x_2}{y_2}, \frac{x_3}{y_1} \right) \quad (6.9)$$

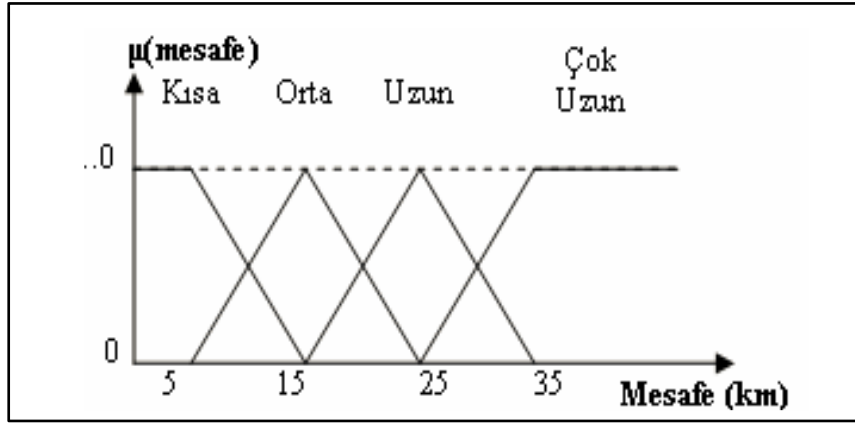
şeklinde gösterilir. Bu işlem sonucu çıkan sayı da bir üçgensel bulanık sayı olmaktadır.

6.3.1.4 Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemler şöyle sıralanabilir [40]:

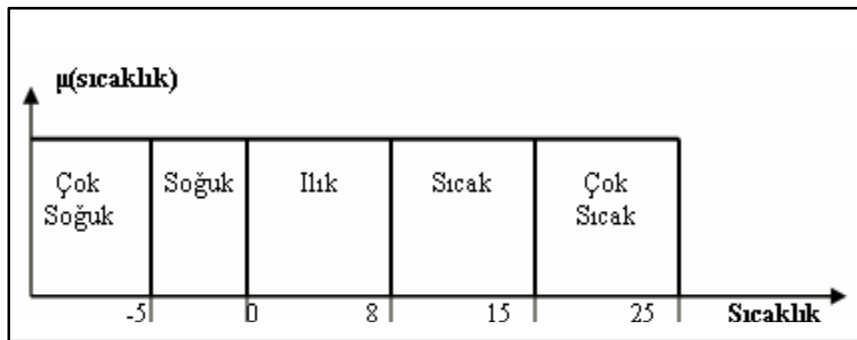
- Sezgi,
- Çıkarım,
- Merteleme,
- Açılı bulanık kümeler,
- Yapay sinir ağları,
- Genetik algoritmalar,
- Çıkarımcı muhakeme.

Bunlardan sezgi fazla bir metodoloji bilgisi gerektirmemektedir. Burada kişinin kendi anlayış, görüş ve olaylara bakışı önemli rol oynar. Buna en basit örnek olarak mesafe kelimesinin belirttiği belirsiz alt kümeler düşünülebilir. Bir insanın yürüyeceği günlük mesafe için en azından kısa, orta, uzun ve çok uzun gibi dört tane alt küme belirlenebilir. Bu alt kümelerin her biri Şekil 6.4'te görüldüğü gibi belirli bir geometrik şekil ile temsil edilebilir [46].



Şekil 6.4 Mesafe bulanık alt kümeleri

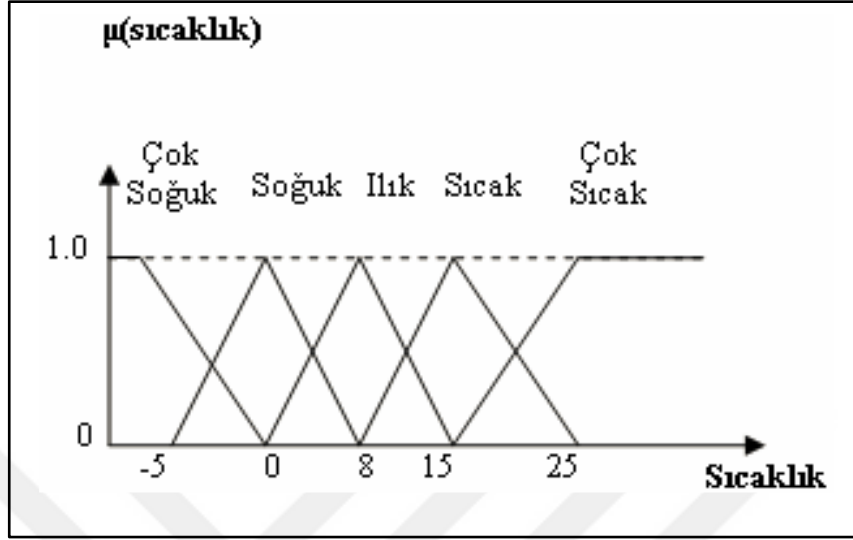
Bu geometrik şekillerin konumları, doğal olarak, o yörede yaşayan kişilere göre değişir. Örneğin, kırsal kesimlerde yaşayan insanların anladığı kısa kavramı ile kentsel bölgelerde yaşayanlarınki birbirinden oldukça farklıdır. Üyelik fonksiyonu sayısal bir aralığın, bir kelime ile ifade edilen bir kümeye üyeliğini tarif eder. Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Örneğin, İstanbul'da sıcaklık derecesinin değişim aralığının aşağı yukarı -5 dereceden $+35$ dereceye kadar olduğu söylenebilir. Bu sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak, günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da “çok soğuk”, “soğuk”, “ılık”, “sıcak”, “aşırı sıcak” gibi bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Çok soğüğün -5 derece ile 0 derece, soğüğün 0 derece ile 8 derece, ılığın 8 derece ile 15 derece, sıcaklığın 15 derece ile 25 derece arasında, çok sıcaklığın da 25 dereceden başladığı söylenebilir. Burada, aralık tahminlerinde bulunulmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Bitişik dikdörtgen gösterim

Bu aralıkların sınırlarında yine Aristo mantığına göre katı kararlar alınmalıdır. Örneğin $7,9$ derecenin soğuk, $8,1$ derecenin ise ılık olduğuna karar verilir. Buradaki en önemli nokta, her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin, sadece o aralıkta 1 'e, diğer aralıklarda ise 0 'a eşit olduğudur. Bu nedenle her sıcaklık alt kelimesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1 'e

eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir. Bulanık kümelerde sıcaklık alt aralıkları birbiriyle örtüşmeli ve geçişlere sahip olmalıdır. Şekil 6.6'da sıcaklığa ait üyelik fonksiyonları gösterilmektedir.



Şekil 6.6 Örtüşmeli üçgen gösterim

İlk ve son alt aralıktaki sıcaklık durumlarının, “çok çok soğuk” veya “çok çok sıcak”a doğru giderken başka alt aralıklar olmadığından, üyelik derecelerinin 1’e eşit olması uygun olacaktır. Buradan ilk ve son üyelik fonksiyonlarının üçgen değil de yamuk şeklinde olacağı sonucuna varılır. Böylece, her alt aralığa girişimli olarak bir üyelik fonksiyonu şekli tayin edilmiştir.

Diğer taraftan, sorun her alt aralığa düşen sıcaklık derecelerinin hepsinin aynı dönemde olup olmayacağıdır. Örneğin ılık aralığı için, aralığın alt ve üst uçlarına yaklaştıkça, önem derecesinin en büyük değerinin o alt aralığın ortalarında, en düşük değerlerin ise uçlarda olacağı söylenebilir. Genel olarak, her alt aralığın ayrıık üyelik fonksiyonu bu şekildedir ve bu fonksiyonların simetrik olması gerekmez. Böylece X_a ve X_b gibi alt ve üst sınırlara sahip X değişkeninin, bu aralıktaki her değerine ayrı bir üyelik derecesi, $\mu(x)$ tayin edilmiş olur. Bu aralıktaki tüm X değerleri, o X değişkeninin bir alt kümesini teşkil eder.

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Bu kümenin en önemli özelliği, alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri verilirse, diğerlerinin 0 ile 1 arasındaki değişiminin, her bir öğe için değerine, üyelik derecesi (μ), bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu ($\mu_A(x)$) adı verilir. Böylece, üyelik fonksiyonu şemsiyesi altında toplanan öğeler önem derecelerine göre birer üyelik

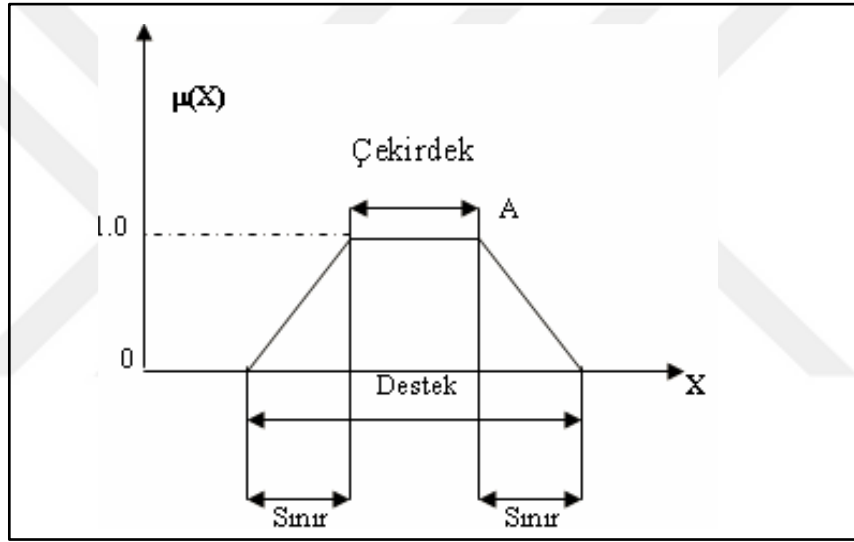
derecesine sahip olur. X evrensel bir küme olduğunda, A kümesini tanımlayan üyelik fonksiyonu;

$$\mu_A : x \rightarrow [0,1] \quad (6.10)$$

şeklinde tanımlanır. Buna bağlı olarak da bulanık A kümesinin tanımı;

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \} \quad (6.11)$$

şeklindedir. Matematik kurallarına uygun olarak düzgün şekilli üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk veya çan eğrisi şeklinde de olabilir. Bunlardan üçgen olanı yaygın olarak kullanılır. Herhangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun çekirdeği (Şekil 6.7), A kümesi içinde üyelik derecesi “1”e eşit olan elemanların kümesidir [41].

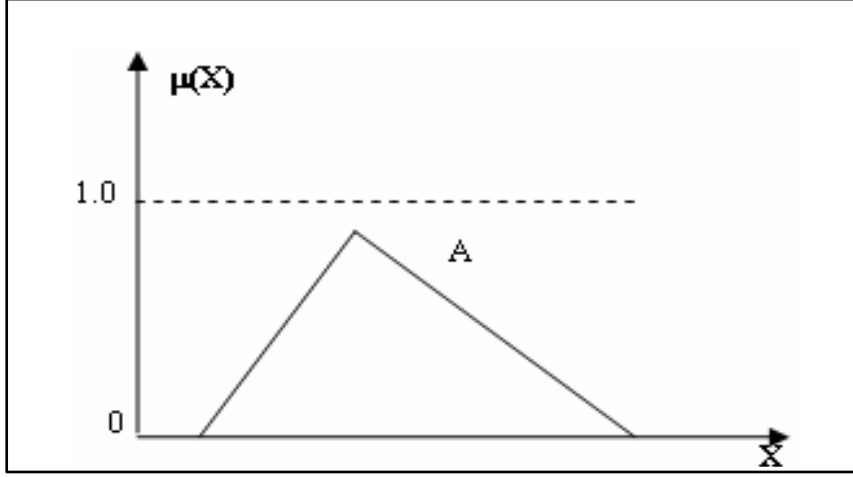


Şekil 6.7 Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınır kısımları

Herhangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun destek kısmı, A kümesi içindeki sıfır olmayan üyelik değerlerini karakterize eden evrensel küme olarak tanımlanır ve

$$\text{Supp } A = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (6.12)$$

ile gösterilir. A bulanık kümesinin yüksekliği üyelik fonksiyonunun maksimum değeridir. $\text{Max}\{\mu_A(x)\}$ ile gösterilir. Bu değer 1'den küçük ise bu bulanık küme subnormal bulanık kümedir (Şekil 6.8).

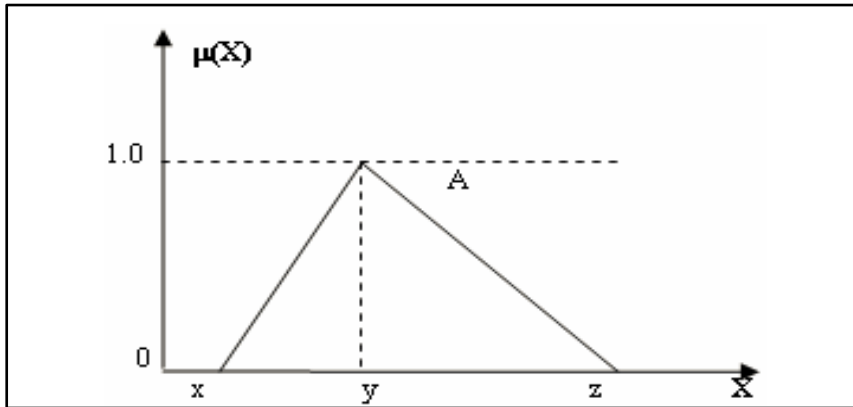


Şekil 6.8 Subnormal bulanık küme

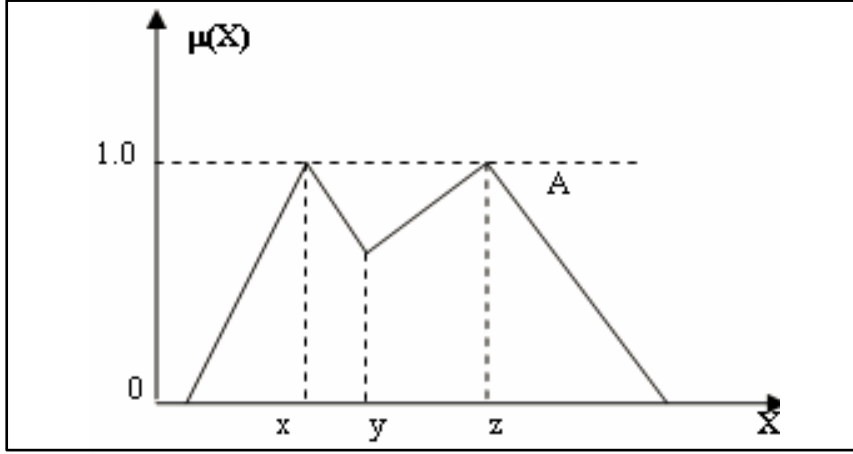
Konveks bulanık küme, üyelik fonksiyonu monoton bir şekilde artan veya azalan veya önce monoton bir şekilde artan sonra artan değerler ile monoton bir şekilde azalan kümeler olarak açıklanır. Başka bir ifadeyle, eğer, herhangi $x < y < z$ elemanları için;

$$\mu_A(y) \geq \min [\mu_A(x), \mu_A(z)] \quad (6.13)$$

denklemini sağlanıyorsa bu bulanık küme, A konveks bulanık kümedir (Şekil 6.9). Herhangi iki konveks kümenin kesişimi de konveks bulanık kümedir. Üyelik fonksiyonunda üyelik değerleri 0,5 olan noktalar fonksiyonun cross-over noktaları olarak tanımlanır. Şekil 6.10'da konveks olmayan bir bulanık küme görülmektedir.



Şekil 6.9 Konveks normal bulanık küme



Şekil 6.10 Konveks olmayan normal bulanık küme

Eğer A tek noktada konveks normal bir bulanık küme olarak tanımlanırsa, A bir bulanık sayıyı ifade eden bir küme olur. Bulanık kümeler, bir değer ve bu değerün üyelik derecesinden oluşan sayı çiftlerinden oluşurlar. Bu çiftler üzerinde işlem yaparken, bazı bulanık küme özellikleri kullanılır. Bulanık küme işlemlerinin klasik kümelerdekinden farkı ise, üyelik fonksiyonlarının bahsedilen bulanık küme özellikleriyle işleme sokulmasıdır.

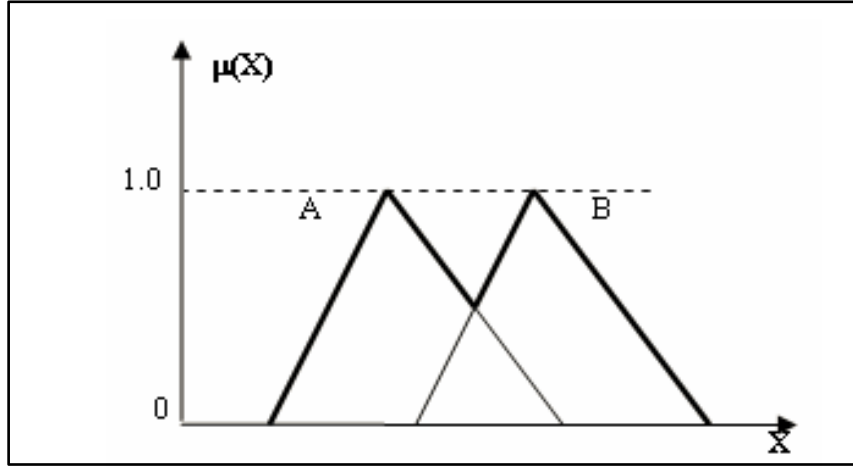
Bulanık kümelerin de klasik kümelerdekine benzer özellikleri vardır. Bu özellikler genel olarak grafik gösterimleriyle açıklanmıştır. Bunun sebebi, uygulama çalışmasının da grafik yöntemle çözülecek olmasıdır [41].

6.3.1.5 Birleşme Özelliği

A $\cup$ B kümesinin $\mu_{A \cup B}(X)$ üyelik fonksiyonu, $x \in X$ 'in her değeri için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max} \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (6.14)$$

Şekil 6.11'de birleşme özelliği grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Bulanık kümelerin birleşme özelliği

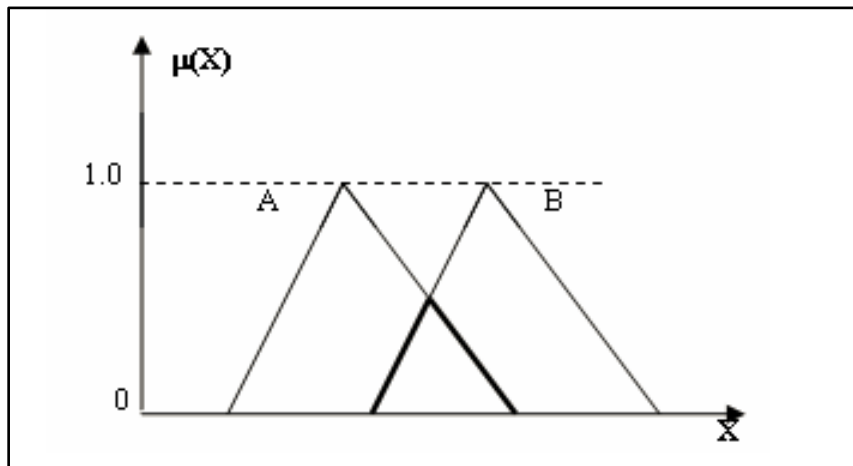
Örneğin; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümelerin birleşimi olan “uzun boylular VEYA şişmanlar” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle üyedir [41].

6.3.1.6 Kesişme Özelliği

$A \cap B$ kesişimin üyelik fonksiyonu $\mu_{A \cap B}(x)$ üyelik fonksiyonu, 'in her değeri için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min} \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (6.15)$$

Şekil 6.12’de (6.15) eşitliğinin grafik ifadesi gösterilmiştir.



Şekil 6.12 Bulanık kümelerin kesişme özelliği

Birleşme özelliği için verilen örnek kesişme özelliği için şu şekilde düzenlenebilir; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye

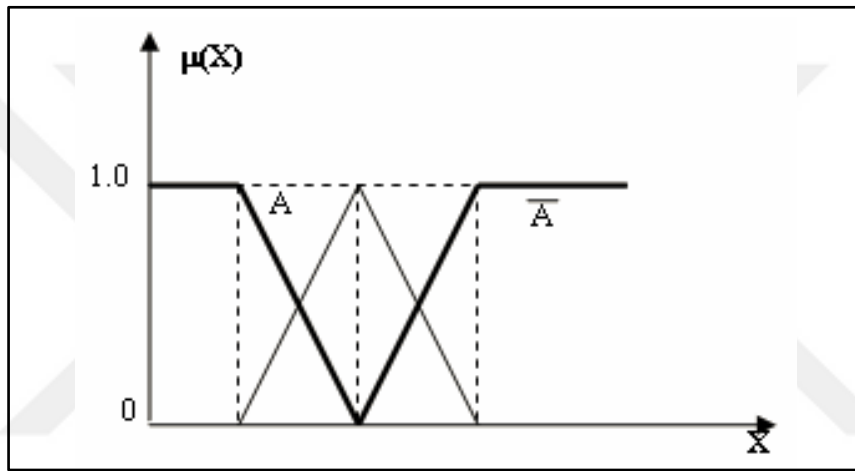
olan bir kişi, bu kümelerin kesişimi olan “uzun boylular VE şişmanlar” kümesine 0.3 üyelik derecesiyle üyedir [41].

6.3.1.7 Evrik Alma Özelliği

Bulanık A kümesinin evriği $x \in X$ 'in her değeri için $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu türünden aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (6.16)$$

şekil 6.13'te bu ifadenin grafiksel gösterimi görölmektedir.



şekil 6.13 Bulanık kümelerin evrik alma özelliği

Örneğin: “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümenin evriği (tersi) olan “şişman olmayanlar” kümesine 0.7 üyelik derecesiyle üyedir [41].

6.3.1.8 Standart Formlar ve Sınırlar

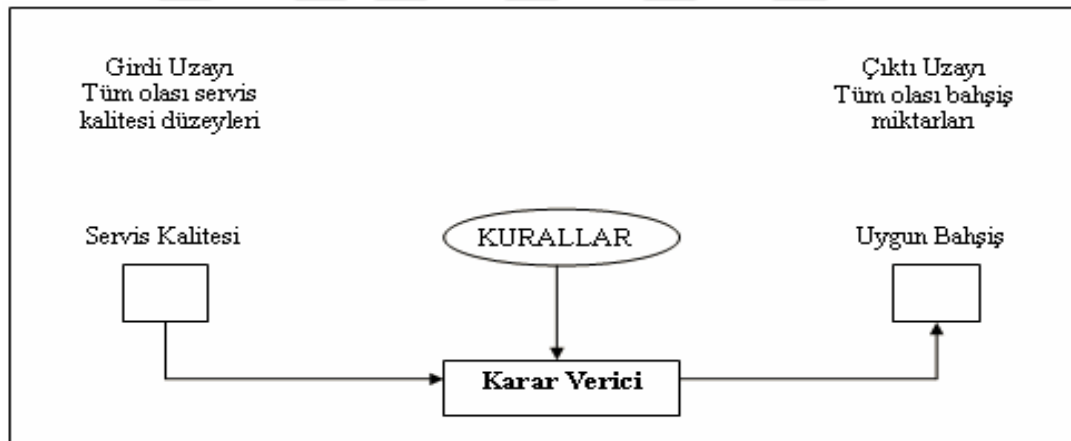
En çok kullanılan üyelik fonksiyonu formları normal ve konveks olanlardır. Bununla birlikte bulanık kümeler üzerindeki bazı işlemler ve üyelik fonksiyonu üzerindeki işlemler subnormal ve nonkonveks fonksiyonlar ile sonuçlanır. Üyelik fonksiyonları simetrik veya asimetrik olabilirler, bu fonksiyonlar tek boyutlu kümelerde ve çoklu-boyut kümelerde tanımlanabilirler. Burada gösterilen fonksiyonlarda, tek boyutlu eğriler gösterilmektedir. İki boyutlu durumlarda bu eğrilerin yüzeyleri, üç ve daha fazlası için ise hiper yüzeyleri gösterirler. Bu hiper yüzeyler veya eğriler, n-boyutlu uzay parametreleri ile $[0,1]$ aralığındaki üyelik değeri arasındaki kombinasyonlardan oluşan basit biçimlerdir. Yine, bu üyelik değeri n-boyutlu uzaydaki parametrelerin spesifik kombinasyonlarının n-boyutlu bir evrensel kümede tanımlanan, belli bir bulanık küme içinde olan üyelik derecelerini gösterir. N-boyutlu kümeler için olan hiper

yüzeyler, birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonlarına benzerdir. Ancak, üyelik fonksiyonunun çizimi belli bir kümedeki üyelik içindir, frekansla veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile ilişkili değildir [46].

6.3.1.9 Bulanık Kümelerde Kural Tabanı ve Çıkarım Süreci

Bulanık sistem teorisinin önemli bir katkısı bir bilgi tabanını doğrusal olmayan haritaya dönüştürme için sistematik bir metodoloji sağlamasıdır [47].

Yukarıda da kısaca bahsedildiği gibi; bulanık mantık, bir girdi uzayını, kural tabanı ve çıkarım motoru vasıtasıyla bir çıktı uzayına ulaştırır. Örnek olarak; bir restorandaki “servis kalitesine” göre “uygun bahşış miktarı” kararı alınması verilebilir (Şekil 6.14). İnsanlar bahşış verecekleri zaman servisi çeşitli kriterlere göre ölçüp, bir bahşış fonksiyonuna sokmazlar. “EĞER servis kalitesi ‘çok iyi’ İSE ‘çok’ bahşış ver” gibi birkaç tane kuralla konu açıklığa kavuşturulabilir.



Şekil 6.14 Bir girdi altkümesinin bir çıktı altkümesine gitmesi (MathWorks, 2002)

Bulanık mantık temelde problemlere getirdiği bu kolay çözüm nedeniyle tercih edilir (MathWorks, 2002). Yukarıdaki kurala bakıldığında, daha önceden karar vericinin aklında tanımlanan, servis kalitesi değişkenine ait dilsel bulanık kümeler olduğu görülür. Bu kümeler “Çok iyi”, “Orta” ve “Zayıf” olarak, benzer şekilde bahşış miktarı için bulanık kümeler ise “Az”, “Orta” ve “Çok” olarak belirlenmiştir. Karar vericinin servis için “Çok iyi” ifadesini kullanması, herhangi bir kuralı belirli bir çıktı kümesine götürmez. Zira alınan servis kalitesinin “Çok iyi” kümesindeki üyelik derecesi uygun bahşış miktarının “Çok” kümesindeki üyeliğini verecektir. Dolayısıyla üyelik derecesinin hesaplanmasını sağlayacak bir kesin (crisp) veya bulanık (fuzzy) girdiye ihtiyaç vardır. Böyle bir girdi sağlamak için servis kalitesinin 1–10

arasında puanlandığı varsayılabilir. Bir kabul de çıktı uzayı için yapılmalıdır. Bahşış miktarının en küçük değeri %0 ve en büyük değeri de %25 olsun.

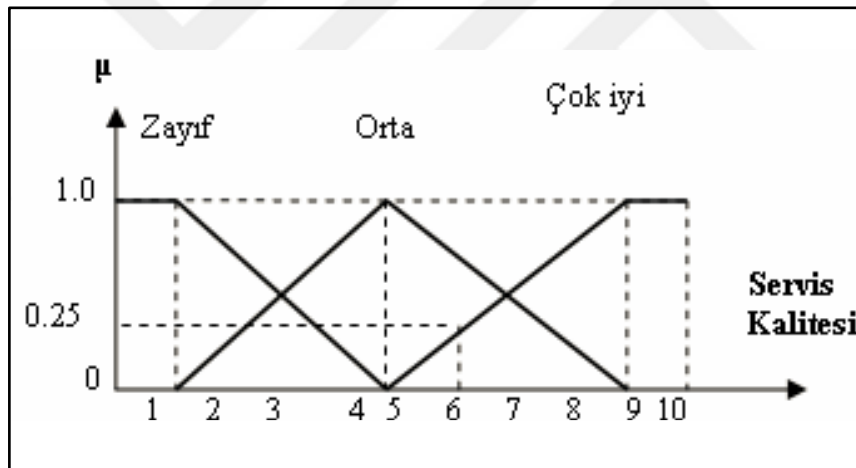
Yukarıdaki kabuller ışığında çıktı (bahşış miktarı) şu adımlar izlenerek oluşturulur;

- Kesin (crisp) girdinin bulanıklaştırılması (Fuzzification),
- Kural tabanı vasıtasıyla çıkarım (Inference),
- Çıktının durulaştırılması (Defuzzification).

6.3.1.10 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, kesin olarak ifade edilmiş bir girdinin, bulanık bir küme içerisindeki üyeliğinin bulunmasıdır. Bu yolla, kesin olarak ifade edilen bir sayı bir bulanık kümenin belli bir oranda elemanı olur.

Servis kalitesine verilen 6 puanı, 0.25 üyelik derecesi ile “Çok iyi” kümesine üyedir (Şekil 6.15).

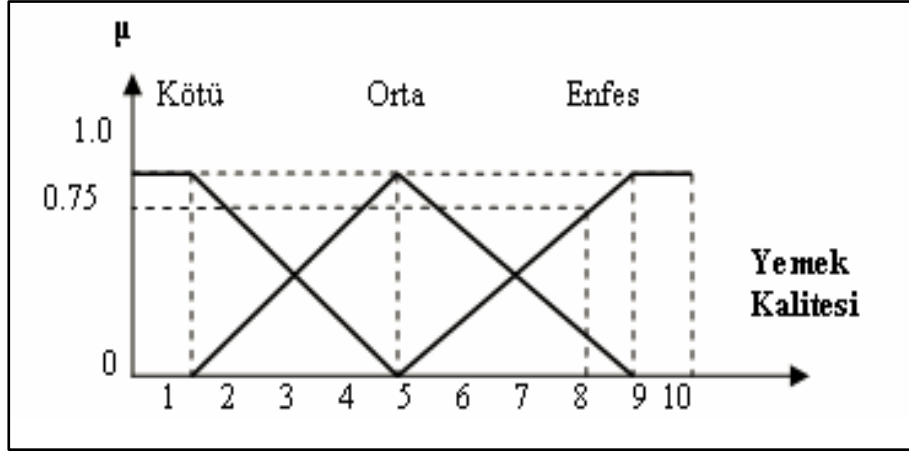


Şekil 6.15 Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu

Bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen değer 0.25'tir ve çıkarım için bu değer kullanılacaktır.

Bahşış örneğine, üyelik fonksiyonu Şekil 6.16'da gösterildiği gibi olan yemek kalitesi değişkeni eklenir ve kural tabanı da düzenlenerek aşağıdaki şekle getirilebilir;

EĞER servis kalitesi ‘çok iyi’ VEYA yemek kalitesi ‘enfes’ İSE ‘çok’ bahşış ver.

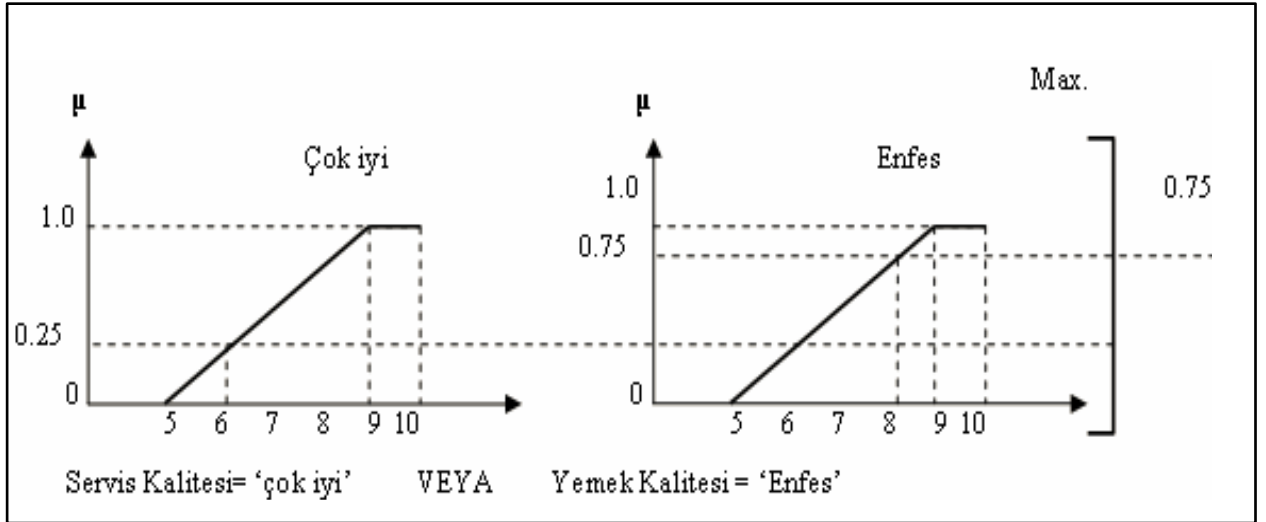


Şekil 6.16 Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu

Yemek kalitesine verilen 8 puanı, 0.75 üyelik derecesi ile “Enfes” kümesine üyedir (Şekil 6.17). Öyleyse, kural tabanının öncül kısmı (EĞER ile İSE arası kısım) olan, “servis kalitesi ‘çok iyi (Çİ)’ VEYA yemek kalitesi ‘enfes (EN)’” ifadesi matematiksel olarak aşağıdaki gibi çözülür.

$$\mu_{Çİ \cap EN} = \text{Max}\{\mu_{Çİ}(6), \mu_{EN}(8)\} = \text{Max}\{0.25, 0.75\} = 0.75 \quad (6.17)$$

Bu ifade Şekil 6.17’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



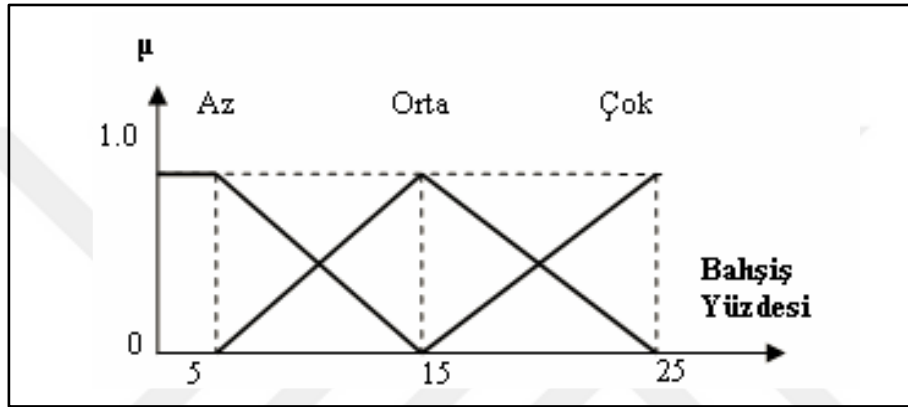
Şekil 6.17 İki girdi değişkeninin bulanıklaştırılması

Bu işlem sonucunda elde edilen 0.75 değeri, kural tabanının soncul (İSE’den sonraki) kısmında verilen uzayı daraltan bir çıkarımda rol oynar. Bulanıklaştırmanın girdisi her zaman kesin

(crisp) olmayabilir. Girdinin bulanık (fuzzy) bir küme olduğu durumlarda, bulanıklaştırma işlemi, iki bulanık kümenin kesiştirilmesiyle yapılır. Daha sonraki işlemler tamamıyla aynıdır.

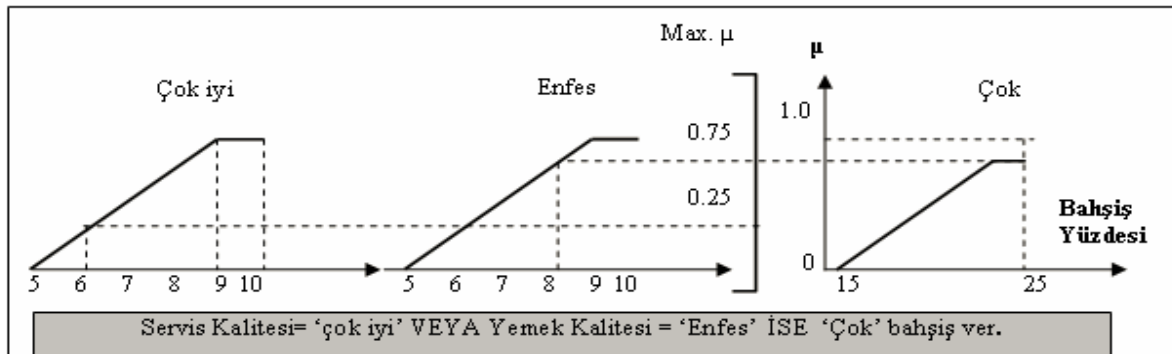
6.3.1.11 Çıkarım

Bulanık bir girdi kümesinin kural tabanında belirtilen bulanık bir çıktı kümesine gitmesine çıkarım adı verilir. Çıkarım sırasında kural tabanının öncül kısmında (antecedent) bulanıklaştırma ile elde edilen üyelik değeri, soncul kısımdaki (consequent) bulanık kümeye yansıtılır ve bir çıktı bulanık kümesi elde edilir. Çıkarım kısmında bahşiş miktarının da üyelik fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Bahşiş miktarının üyelik fonksiyonu Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



6.18 Bahşiş miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu

Aynı örnek devam ettirilirse, bulanıklaştırma sonucunda elde edilen 0.75 değerinin, kural tabanında belirtilen “çok” bahşiş kümesine uygulanması gerekir. Değerin kümeye uygulanmasıyla, bahşiş uzayı daralmaya uğrayacak ve uygun bahşiş miktarının bulanık kümesini verecektir (Şekil 6.19). Kural sayısının birden fazla olması durumunda, her bir kuraldan elde edilen çıktıların bileşkesi, çıktı bulanık kümesini verir. Kesin bir çıktı değeri (uygun bahşiş oranı) ise durulaştırma işleminden sonra elde edilir.



Şekil 6.19 Bulanık çıkarım kümesi

6.3.1.12 Durulaştırma

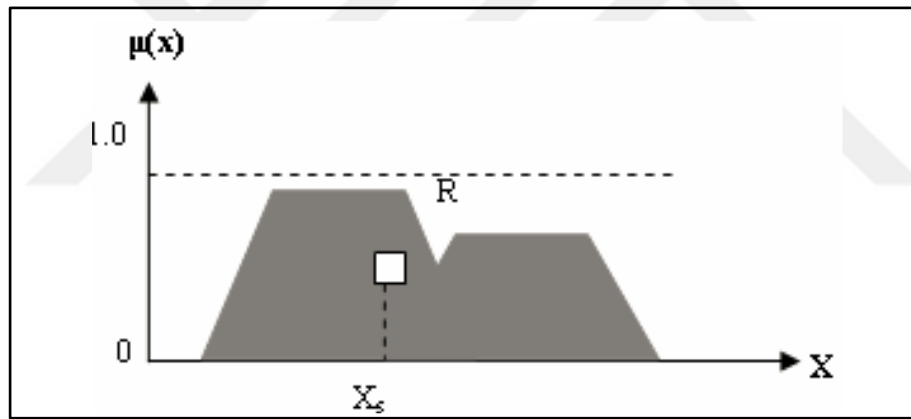
Bulanık çıkarım kümesinden yola çıkarak kesin bir sayı elde etme işlemine durulaştırma denir. Bunun için birçok metot mevcuttur. Ancak bu metotlardan yedi tanesi son yıllarda araştırmacılar tarafından önerilmektedir [46]. Bu çalışmada, uygulamalarda sıkça kullanılan bu metotlardan en çok kullanılan üç tanesi özetlenmiştir.

6.3.1.12.1 Ağırlık Merkezi Yöntemi

Durulaştırma işlemleri arasında en yaygın olan yöntem Ağırlık Merkezi (Centroid) yöntemidir. Bu yöntemde bulanık çıktı kümesi (R)'nin ağırlık merkezinin iz düşümünde bulunan X_s değeri, kuralın kesin (crisp) çıktısı olarak kabul edilir. Anlatılanların matematiksel olarak ifadesi şöyledir [46]:

$$X_s = \frac{\int \mu_R(x) \cdot x \cdot dx}{\int \mu_R(x) \cdot dx} \quad (6.18)$$

Şekil 6.20'de durulaştırmanın grafiksel gösterimi verilmiştir [40].

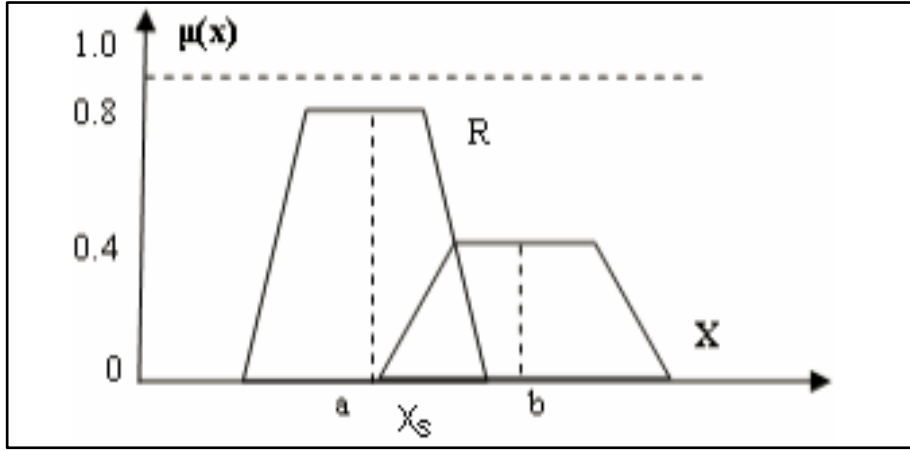


Şekil 6.20 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma

6.3.1.12.2 Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu durumlarda bu yöntem kullanılır. Matematiksel ifadesi ile işlem (6.19) eşitliği şeklindedir [46]. Grafiksel gösterim şekil 6.21'de verilmiştir [40].

$$X_s = \frac{\sum \mu_R(\bar{x}) \cdot \bar{x}}{\sum \mu_R(\bar{x})} \quad (6.19)$$



Şekil 6.21 Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma

6.3.1.12.3 En Büyük Üyelik Derecesi

Bu yöntemle göre çıktının kesin değeri, en büyük üyeliğin olduğu noktadır. Tepesi sivri olmayan kümelerde ise, en yüksek üyeliğe sahip olan düzlüğün orta noktasının iz düşümü, çıktının kesin değerini verir.

6.4 Bulanık Aksiyomlarla Tasarım

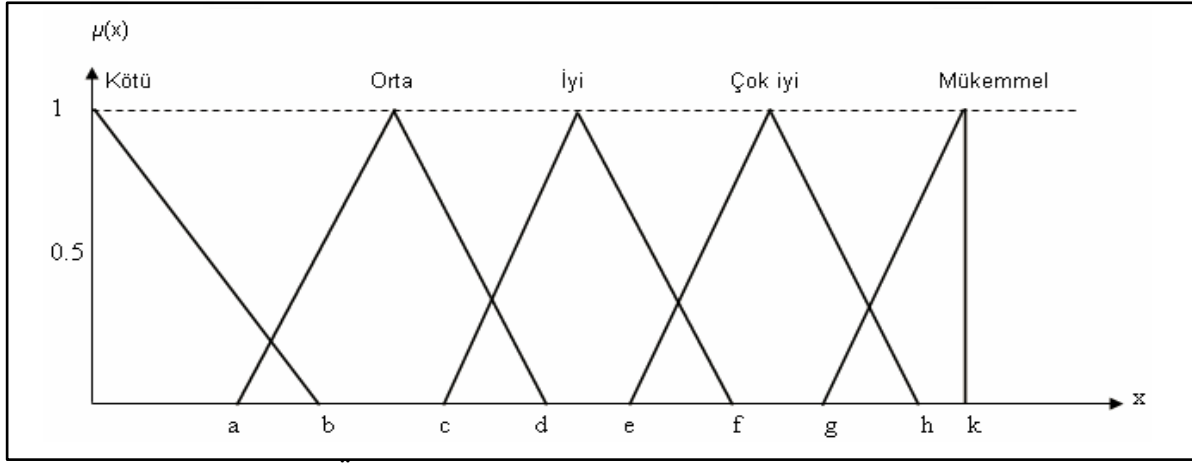
Yalın taşıma sistemi tasarım prosedüründe (Şekil 6.1) gösterildiği gibi, en uygun taşıma yönteminin seçilmesinde, aksiyomlarla tasarımın bilgi aksiyomunun bulanık ve ağırlıklı bulanık yaklaşımları kullanılacaktır.

6.4.1 Bulanık Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı (T1)

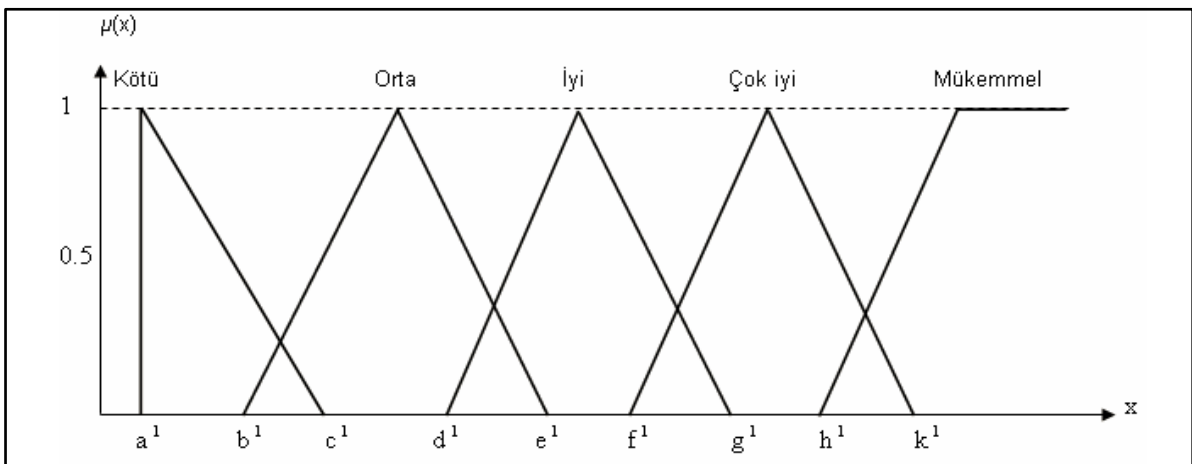
Karar değişkenlerinin belirli sayılarla tanımlanması belirsizlik durumlarında zor olduğu için klasik bilgi aksiyomu yaklaşımı bu şartlarda başarılı sonuçlar verememektedir. Bu durumlarda kullanılmak üzere, çok ölçütlü bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımı geliştirilmiştir [48], [49],[50],[51].

Literatürdeki çok ölçütlü karar verme teknikleri genellikle veriler belirli olduğunda çözüme ulaşırken, bulanık çok ölçütlü AD yaklaşımı veriler kesin olmadığında da kullanılabilir bir yöntemdir. Kesin olarak belirli olan verileri ifade etmek için gerçek sayılar kullanılır. Ancak veriler belirli olmadığında ve sayısal değerler yerine dilsel değişkenlerle ifade edildiğinde bu verilerin belirli bir kural tabanına bağlı olarak sayısal bir forma dönüştürülmesi gerekir. Bulanık küme teorisi bu aşamada kullanılabilecek önemli bir araçtır [52].

Aynı zamanda, belirli ve belirsiz ölçütleri birlikte içeren bir problem bütünleşik klasik ve bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımıyla çözülebilir. Belirsizlik altındaki ölçütlerle ilgili veriler bulanık veriler olarak ifade edilebilir. Bulanık veriler, bulanık kümeler, bulanık sayılar veya dilsel olarak ifade edilebilirler. Eğer veriler dilsel ise öncelikle bulanık sayılara çevrilmekte ve sonra tüm bulanık sayılar (bulanık kümeler) belirli değerlere atanmaktadır [48]. Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'te, dilsel ifadelerin bulanık sayılara dönüştürülmesini gösterilmektedir [49]. Belirsiz veriler için hem sistem hem de tasarım aralıkları hakkında yeterli bilgi mevcut değildir. Belirli bir ölçüt için tasarım ve sistem aralıkları, “bir sayıdan fazla”, “bir sayı civarında” veya “iki sayı arasında” şeklinde ifade edilebilir. Üçgensel bulanık sayılarda, bu şekilde ifade edilebilen değerlerdir.



Şekil 6.22 Ölçülemeyen faktörler için sayısal yaklaşım sistemi



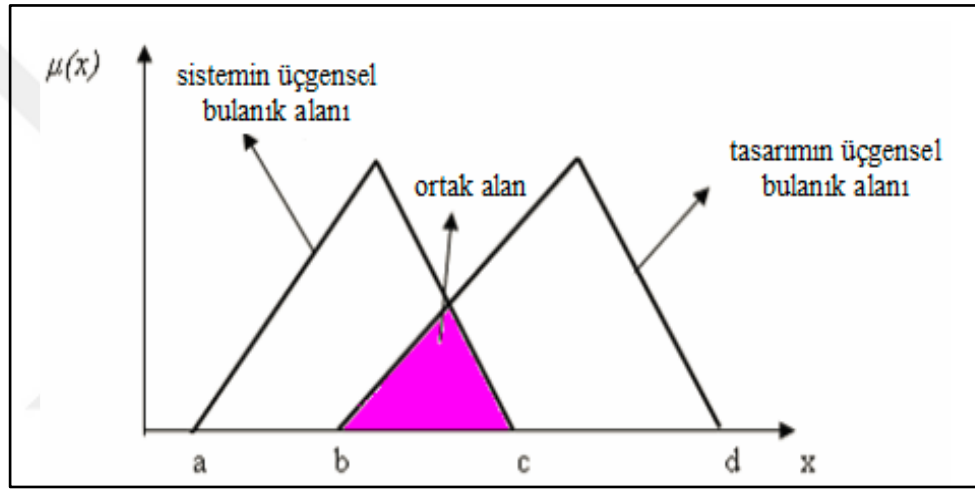
Şekil 6.23 Ölçülebilen faktörler için sayısal yaklaşım sistemi

Aksiyomatik tasarımda, fonksiyonel ihtiyaçların sistem ve tasarım aralıkları her zaman belirli bir aralıkla ifade edilemez. Belli bir değerin üstünde ya da bir değere yaklaşık olarak ifade

edilebilir ve bu değerler üçgensel ya da yamuksal bulanık sayılarla gösterilebilir. Bulanık aksiyomlarla tasarımda aralık değerleri dilsel olarak verildiğinde olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirli olduğu durumda üçgensel ya da yamuksal bulanık üyelik fonksiyonları kullanılır. Dolayısıyla ortak alan, üçgensel ya da yamuksal bulanık sayıların kesiştiği bölgedir. Şekil 6.24'te görüldüğü gibi, ortak alan sistem aralığının bulanık üçgensel alanı ile tasarım aralığının bulanık üçgensel alanının arasındaki kesişim bölgesidir [52].

Bu durumda bilgi içeriği eşitlik 6.20'de verildiği gibi olacaktır:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Üçgensel bulanık sayılar sistem alanı}}{\text{Ortak alan}} \right) \quad (6.20)$$



Şekil 6.24 Sistem ve tasarım aralıklarının ortak alanı

6.4.2 Ağırlıklı Bulanık Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı (T2)

Karar verme aşamasında kullanılan kriterler eşit öneme sahip olmayıp önem derecelerinin birbirinden farklı olduğu durumlarda “Ağırlıklı bulanık aksiyomlarla tasarım” yaklaşımı kullanılabilir. Bu yaklaşımda yapılması gereken ilk iş kriterlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesidir.

Eşitlik (6.21) kullanılarak alternatif tekniklerin tüm kriterler için bilgi değerleri hesaplanabilir.

$$I = \begin{cases} [\log_2(\frac{1}{p_{ij}})]^{w_j}, & 0 \leq I_{ij} < 1 \\ [\log_2(\frac{1}{p_{ij}})]^{w_j}, & I_{ij} > 1 \\ w_j, & I_{ij} = 1 \end{cases} \quad (6.21)$$

6.4.3 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Yöntemin Kararlaştırılması (T3)

Bulanık AD ve ağırlıklandırılmış bulanık AD teknikleriyle elde edilen sonuçlar değerlendirilerek alternatif yöntemler arasından en uygununa karar verilir.

6.5 Tasarım Yöntemleri ve Aksiyomlarla Tasarım (T4)

Alternatif taşıma yöntemleri arasından en uygunun seçilmesi işleminin bilgi aksiyomu ile gerçekleştirilmesinden sonra seçilen sistemin tasarımı gerçekleştirilir. Bu aşamada kullanılabilecek tasarım yöntemlerinden biri de aksiyomlarla tasarım yöntemidir.

6.5.1 Tasarım

Tasarım, ne yapmak istenildiği ile bunu nasıl yapılacağı arasında yapılan haritalandırmadır. “Ne yapmak istiyoruz?” sorusuna verilecek yanıt, bu tasarımın amacını ortaya koyacak, böylece tasarımın fonksiyonel ihtiyaçları belirlenecektir. Tasarıma başlarken “Fonksiyonellik (İşlevsellik)” ilk düşünülmesi gereken kavramdır. Çünkü buna bağlı olarak “Nasıl?” sorusunun yanıtını bulmak, tasarım parametrelerini belirlemek, mümkün olacaktır. Örneğin bir buzdolabı kapısının fonksiyonelliği buzdolabının içindekilere ulaşabilmek olarak tanımlandığında karşılaşılan her buzdolabı kapısı iyi bir tasarım olacak ve o ihtiyacı karşılayacaktır. Ancak fonksiyonellik;

1. Buzdolabı içerisindeki gıdalara ulaşma,
2. Enerji sarfiyatının en aza indirilmesi,

olarak tanımlandığında bu iyi bir tasarım değildir. Çünkü her açılışta buzdolabı içerisindeki sıcaklık değişecek, ısı kaybı olacaktır [53], [54].

Fonksiyonelliği anlayabilmek için tanımının anlaşılması gerekir. Buna göre 3 temel karşılığı bulunan fonksiyonellik [55];

- Bir kişi ya da nesneden beklenen performans,
- Bir nesnenin ne işe yaradığı (alışma amacı),
- Uygun ve beklenen şekilde çalışmak demektir.

Tasarımın; gelişimsel, yaratıcı ve uyarlamalı olmak üzere 3 çeşidi vardır.

1-Gelişimsel tasarım: Var olan tasarımın geliştirilip ilkinden önemli miktarda farklılaştırılması ile oluşturulan yeni tasarımdır.

2-Yaratıcı tasarım: Tamamen yeni bir şeyin tasarımıdır.

3-Uyarlamalı tasarım: Çoğu tasarım işi bu sınıf altında toplanır. Var olan tasarımın yeni ihtiyaçları karşılaması için uyarlanması ile oluşan yeni tasarımdır.

Bir tasarımın geliştirilmesi aşamasında tasarımcının sorması gereken sorular şunlardır [56]:

1. Tasarımın ulaşacağı temel amaçlar nelerdir?
2. Tasarımın fonksiyonel ihtiyaçlarını karşılamak için ihtiyaç duyulan tasarım parametreleri nelerdir?
3. Bu tasarım iyi bir tasarım mı? Bu tasarım neden diğerlerinden daha iyi?
4. Tasarım neden işe yaramıyor? Hangi aşamasında problem oluştu?
5. Hangi parametreler değişmek zorunda? En iyi çözüme ulaşmak için tasarım nasıl yeniden oluşturulabilir?

Tasarım yaparken izlenen genel yaklaşım 8 adım içerir [57]:

1.Müşteri (Kullanıcı) ihtiyaçları: İyi bir tasarımın kullanıcısı için teknik, fizyolojik, psikolojik, sosyal ve kültürel gereksinimlerini karşılaması gerekir. Bunun için tasarıma müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin tespiti ile başlanır.

2.Problemin tanımlanması: Amaç, kapsam, başlıca sınırlamalar, girdiler, çıktılar ve değişkenlerin tanımı yapılmalıdır.

3.Problemin farklı çözüm seçeneklerinin belirlenmesi: Geçmişteki deneyimlerden faydalanarak çözüm yolları geliştirilmelidir.

4.Çözümlerin fizibilite analizlerinin yapılması: Çözüm seçeneklerinin ekonomik, fiziksel, sosyal ve kültürel fizibiliteleri test edilmelidir.

5.Çözümlerin optimize edilmesi: Çözüm seçenekleri içinden gelecek vadeden çözümlerin optimizasyonu yapılır. Lineer programlama, grafiksel modeller, hesaplama ya da fiziksel modeller kullanılabilir.

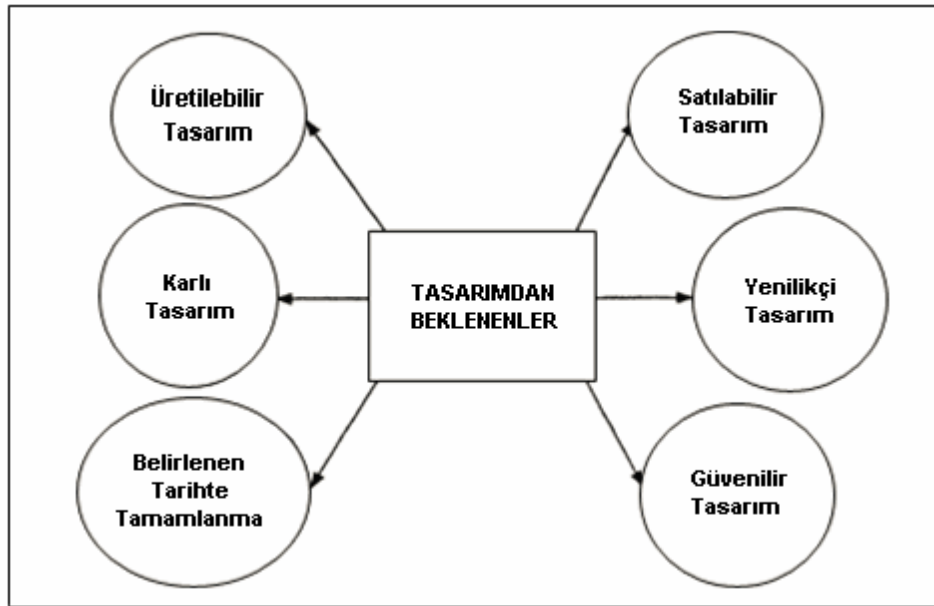
6.En iyi çözümün seçilmesi: Tasarım kriterlerine uyan en iyi çözümü seçilmesi gerçekleştirilir.

7.Seçilen çözümün yürürlüğe koyulması: Özelleştirme, prototip ve yönerge tasarımında seçilen çözüm uygulanır.

8. Tasarımın gerçekleştirilmesi: Tasarımın yukarıdaki adımlara göre yapılması demektir.

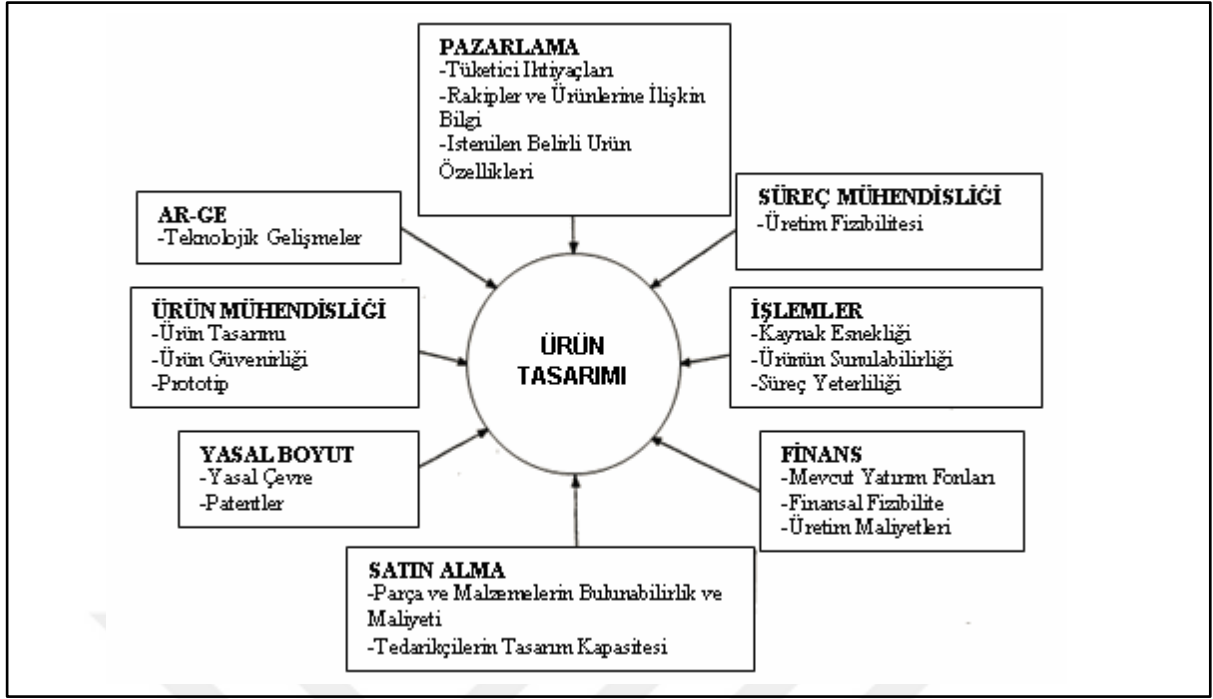
Arcidiacono vd. (2002) ise benzer, ama daha genel bir yaklaşımla herhangi bir tasarımda izlenmesi gereken yolu şöyle belirtmişlerdir:

1. Müşteri ihtiyaçlarını sapt.
 2. İhtiyaçların karşılanması için çözülmesi gereken problemleri tanımla.
 3. Farklı çözümler yarat ve seçim yap.
 4. Önerilen çözümü daha iyi hale getirmek için çalışmalar yap.
 5. Çözümün müşterilerin ihtiyaçlarını gerçekten karşılayıp karşılamadığını kontrol et.
- Şirket yönetiminin bir tasarımdan beklentileri Şekil 6.25'te gösterilmiştir [57].



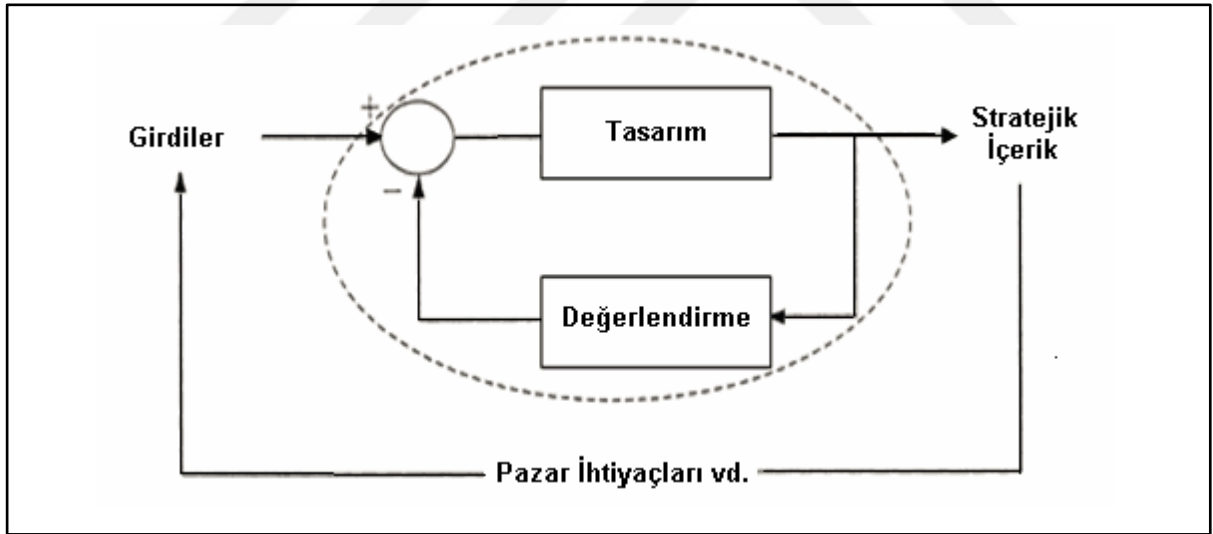
Şekil 6.25 Tasarımdan beklentiler

Tasarım sürecinde şirketin farklı departmanlarının farklı saptama ve katkıları söz konusudur. Bu durum Şekil 6.26'da özetlenmiştir [58].



Şekil 6.26 Değişik faaliyet alanlarının ürün tasarım sürecine katkıları

Tasarım kontrol geri besleme çevrimi Şekil 6.27’deki gibi ifade edilebilir [53].



Şekil 6.27 Tasarımın kontrol geri besleme çevrimi

6.5.2 Çeşitli Tasarım Yöntemleri

Günümüzde kullanılan pek çok tasarım yöntemi mevcuttur. Genel olarak bu yöntemler Aksiyomlarla Tasarım (AD), Değer Analizi (VA), Kalite Evi olarak da bilinen Kalite Fonksiyon Açılımı (QFD), Eş zamanlı Mühendislik (CE), Robust tasarım (RD), Üretim için Tasarım

(DFM), Yaratıcı (Yenilikçi) Problem Çözme Teorisi (TRIZ) ve 6 Sigma için Tasarım (DFSS) olarak sıralanabilir [59].

6.5.3 Aksiyomlarla Tasarım

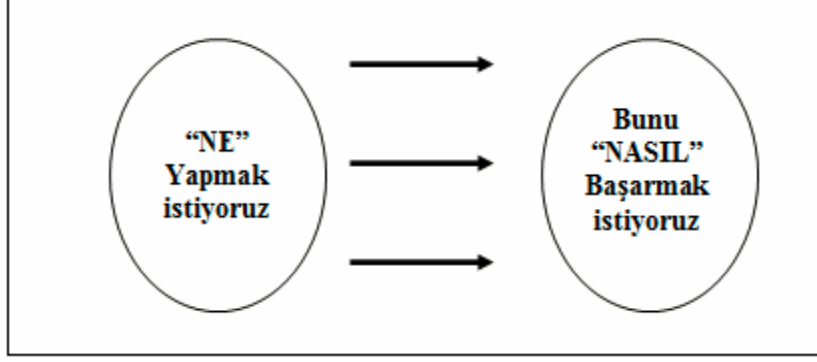
Profesör Nam Pyo Suh tarafından 90'lı yılların başında tasarımcı yetiştirebilme amaçlı eğitim organizasyonu ile ortaya çıkarılmış tasarım metodudur. Çeşitli aksiyomlar ve teoremler içermekte olup; özellikle son on yılda yazılım, organizasyon, sistem, malzeme, imalat ve süreç tasarımlarında bir araç olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Suh (1990), tasarım için imalat süreç tasarımı, ürün tasarımı ve organizasyonel tasarım olmak üzere başlıca üç alanı içerdiğini, ancak AD'nin tasarımın her alanında kullanımına izin verecek potansiyele sahip olduğunu söylemiştir [53].

Geleneksel imalat yaklaşımı olan “Tasarla-Yap-Sat” yıllardır pek çok sektörde kabul görmekle birlikte bazı kalıcı sorunlara sahiptir. Bunlardan ilkinde mal/hizmet geliştirme maliyetinin %70'i tasarım aşamasında harcanmakta ve iyileştirme çabaları işe yaramamaktadır. İkincisi geleneksel yaklaşım büyük ölçekli üretimlerin yapıldığı zamanlarda işe yaramakta, günümüzün dinamik ve rekabetçi koşullarında hızlı yanıt verememektedir. Son olarak ürün aileleri yerine tek bir ürüne ya da birkaç ürün üzerine odaklanmak, müşteri ihtiyaçları konusunda yanlış fikre kapılma riskine ve bu da ekonomik kayıplara yol açacaktır. Sonuç olarak müşteri ihtiyaçlarını karşılayan tasarım büyük önem taşımaktadır. Günümüzde şirketlerin çoğu müşteriyi tanımak için geleneksel pazarlama yöntemlerini kullanmaktadır [60].

6.5.3.1 Aksiyomlarla Tasarımın Amacı

AD'nin amacı, tasarım konusu için bilimsel bir temel oluşturmak ve tasarımcıya mantıksal düşünce süreçleri ve araçları kullanarak tasarım aktivitelerini ilerletmektir [48]. AD çalışmalarında Suh tasarım sürecinde karar vermeye odaklanmıştır [61]. Aksiyomlarla tasarım, yeni bir tasarım yaratmanın ya da var olan tasarımın geliştirilmesinin düşünme sürecini sağlamaktadır [62]. Kısacası AD iyi bir tasarımın çerçevesini çizer [63]. Başarılı bir tasarım Şekil 6.28'de gösterildiği üzere başarmak istenilenin ne olduğuyla başlar ve onun nasıl başarılabacağı ile devam eder [53].



Şekil 6.28 AD'nin temel işleyişi

AD'nin diğer tasarım yöntemlerine göre en önemli avantajı tasarım problemlerini basite indirmesi ve böylece çözümü kolaylaştırmasıdır [64]. Suh'a göre AD'nin, QFD ve TRIZ'den en önemli üstünlüğü sadece var olan ürünün geliştirilmesine değil, yaratıcı-yenilikçi ürünlerin geliştirilmesinde de etkili oluşudur. Buna göre Suh, diğer yöntemlerin var olan ürünlerin geliştirilmesinde daha uygun olduğunu düşünmektedir [53].

6.5.3.2 Aksiyomlarla Tasarım Terimleri

Aksiyom: Karşıt örneği veya istisnası olmayan, her zaman geçerli olarak gözlenen temel gerçeklerdir. Aksiyomlar, olayların çok sayıda gözlemi ile hipotez haline getirilirler; türetilemez ya da ispat edilemez, ancak karşıt örnek veya istisnalar ile geçersiz kılınabilirler.

Teorem: Kendi kendine ispatlanamayan ancak, kabul edilen aksiyomlarla ispat edilebilen önerilerdir. Bu nedenle teorem, bir kural veya ilkeye eşdeğerdir. Bir teorem, teoremi ortaya çıkaran aksiyom geçerli ise geçerlidir.

Sonuçlar: Aksiyomları veya diğer ispat edilmiş önerileri takip eden önerilerdir. Sonuçlar da, aynı mantık içerisinde geçerli ya da değildir.

Fonksiyonel İhtiyaçlar (FR): Fonksiyonel bilgi sahasında ilgili tasarımın bütün ihtiyaçlarını tanımlayan bağımsız ihtiyaçların minimum toplamı olarak tanımlanır. Tanım gereği, her bir fonksiyonel ihtiyaç diğer fonksiyonel ihtiyaçlardan bağımsızdır.

Tasarım Parametresi (DP): Fonksiyonel ihtiyaç ile tanımlanan, tasarım süreçleri ile oluşturulan, fiziksel kavramı nitelendiren anahtar değişkenlerdir.

6.5.3.3 Tasarımın Fonksiyonel İhtiyaçları

Bir ürün veya proses için belirlenen istekler, bağımsız ihtiyaçlar setine indirgenir. Fonksiyonel ihtiyaçlar ve bağımsızlık terimleri aksiyomlarla tasarım yaklaşımında özel bir yere sahiptirler.

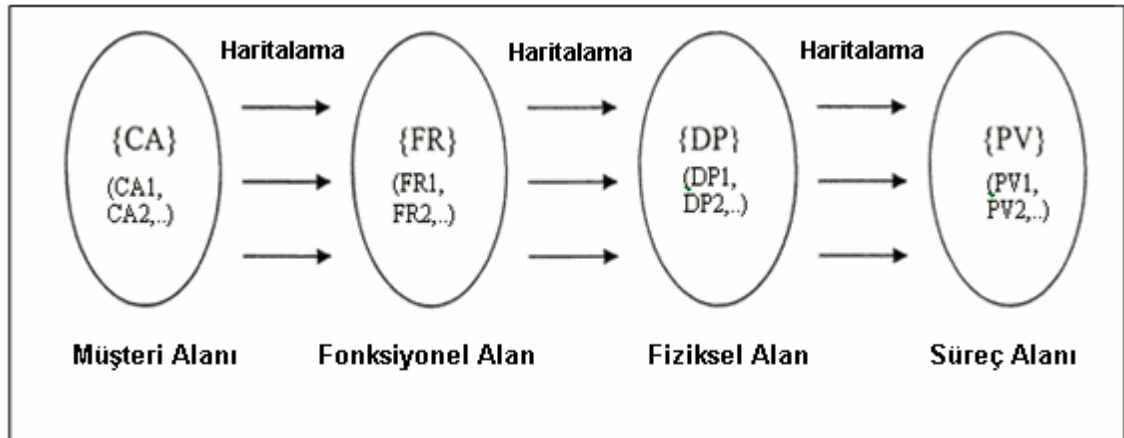
Fonksiyonel ihtiyaçlar, tamamen tasarım amacını belirleyen müşteri istekleri için oluşturulan en az sayıdaki bağımsız ihtiyaçlar kümesidir. Tanıma göre, her bir fonksiyonel ihtiyaç diğerk fonksiyonel ihtiyaçlardan bağımsızdır.

Fonksiyonel ihtiyaçlar (FRs) “Tasarım vasıtasıyla neyi başarmak istediğimizi” belirtirken, Tasarım parametreleri (DPs) “Fonksiyonel ihtiyaçları nasıl başarabileceğimizi” belirtmektedir. Aksiyomlarla tasarım yaklaşımında fonksiyonel ihtiyaçların tarafsız olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu ihtiyaçların tarafsız olarak tanımlanmasındaki en iyi yöntem “tarafsız bir evre”dir. Tarafsızlık sağlanamazsa, yeni tanımlanan fonksiyonel ihtiyaçlar kümesi ya tasarımcının kafasındaki çözümleri ya da mevcut olan sistemin niteliklerini taşır [53].

6.5.3.4 Bilgi Sahaları ve Haritalandırma

Tasarım süreci boyunca, bahsi geçen problem dört bilgi sahasına bölünebilir. Bilgi sahası sayısı drtle sınırlandırılrsa da her bilgi alanındaki tasarım elemanlarının yapısı, sorunun ilgi alanına bağlı olarak değişmektedir [65].

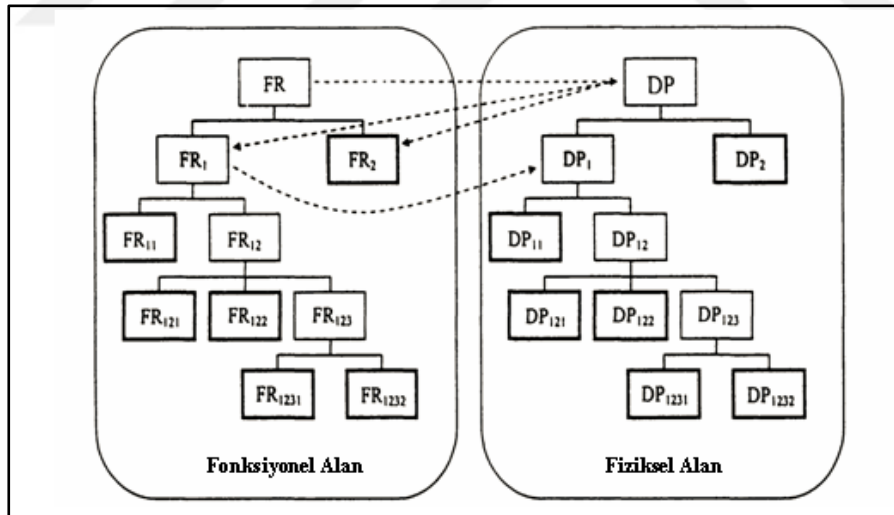
Bilgi sahaları; müşteri bilgi sahası, fiziksel bilgi sahası, fonksiyonel bilgi sahası ve süreç bilgi sahası olarak tanımlanmıştır. Her bir bilgi sahası değişik tasarım elemanlarını kapsamaktadır. Sırasıyla; müşteri ihtiyaçları (CAs-Customer Appetite), fonksiyonel ihtiyaçlar (FRs-Funtional Requirements), tasarım parametreleri (DPs-Design Parameters) ve süreç değişkenleri (PVs-Process Variables) ilgili bilgi sahasının bir elemanıdır. Bilgi saha yapısı şekilde gösterilmiştir. Bir tasarım şekil 6.29’da belirtilen 4 bilgi alanından oluşur. Burada solda yer alan, kendisinden sonra gelen alan için “Ne başarmak istiyoruz?”u; sağdaki alan ise kendisinden önce gelen alanın belirlediği ihtiyaçların karşılanmasının “Nasıl” olacağını betimlemektedir. Bu şekilde “Ne” den, “Nasıl’a gidişler “haritalandırma” olarak adlandırılır.



şekil 6.29 Aksiyomlarla tasarımda ürün geliştirme alan modeli

6.5.3.5 Tasarımın Zikzak ile Ayrıştırılması

Tasarım süreci boyunca, üst seviyeden, alt seviyelere daha fazla ayrıntı ile ilerleme olayına (sistemden alt sistemlere, montajlara, parçalara, parçaların özelliklerine kadar) tasarım hiyerarşisi adı verilir. Tasarımın amacına göre, her bir bilgi sahasında fonksiyonel, fiziksel ve süreç olmak üzere birer hiyerarşi mevcuttur. Fonksiyonel, fiziksel ve süreç hiyerarşilerinin her bir seviyesi arasında uyum olmak zorundadır. Tam bir fonksiyonel hiyerarşi ağacı, fiziksel hiyerarşi ağacı olmaksızın kurulamaz. Aynı şekilde fiziksel hiyerarşi ağacı da fonksiyonel hiyerarşi ağacı olmaksızın kurulamaz [66]. Bir tasarımcı fonksiyonel ve fiziksel hiyerarşi ağacından yararlanmalıdır. İyi bir tasarımcı ikinci derece faktörleri eleterek, hiyerarşi ağacının her bir seviyesindeki en önemli fonksiyonel ihtiyaçları tanımlayabilir. Göz önünde bulundurulan fonksiyonel ihtiyaçların sayısı arttığında, tasarım sürecinin karmaşıklığı da hızlı bir şekilde artar. Bu nedenle, hiyerarşinin belirli bir seviyesinde fonksiyonel ihtiyaçlar kümesi belirlendikten sonra, tasarımcı fiziksel bilgi sahasına geçip, belirlenen fonksiyonel ihtiyaçlar kümesini karşılayan fiziksel sistemi kurmak zorundadır. Tasarımcı daha sonra yeniden fonksiyonel bilgi sahasına geri dönerek alt seviyedeki fonksiyonel ihtiyaç setini kurar. Bu şekilde, tasarımcı süreç boyunca bilgi sahaları arasında zikzaklar yaparak tasarım sorununu alt problemler için çözümün bulunduğu noktaya kadar ayrıştırır (Şekil 6.30) [67].



Şekil 6.30 Zikzak ile ayrıştırma

6.5.3.6 Aksiyomlarla Tasarım Aksiyomları

AD, 2 aksiyom içerir [68]. Aksiyom 1, fonksiyonel ve fiziksel değişkenler arasındaki ilişki ile ilgilenir. Aksiyom 2 ise, tasarımın karmaşıklığı ile ilgilenir. Bu aksiyomlar şu şekilde ifade edilirler [53];

1.Aksiyom: Bağımsızlık Aksiyomu (Independence Axiom):

Fonksiyonel ihtiyaçlar arasında bağımsızlığı sağla ya da bağımsızlığı maksimize et.

Tasarımın amaçlarını karakterize (temsil) eden en az sayıda bağımsız ihtiyacın oluşturduğu kümedir [53]. Diğer fonksiyonel ihtiyaçları etkilemeksizin tasarım parametrelerinin fonksiyonel ihtiyaçlar ile ilişkilendirilmesini içerir [68]. Tasarım süreci boyunca fonksiyonel bilgi sahasındaki fonksiyonel ihtiyaçlardan fiziksel bilgi sahasındaki tasarım parametrelerine zikzak esnasında izlenecek yol, tasarım parametresindeki belirli bir değişimin yalnızca karşılığı olan fonksiyonel ihtiyacı etkilemesidir. Günümüzde mühendisler karmaşık sorunları çözmek için onları parçalara ayırarak daha küçük sorunlar oluşturma ve bunlar arasında bağımsız haritalandırma yapma metodunu sıkça kullanmaktadır [49].

2.Aksiyom: Bilgi Aksiyomu (Information Axiom):

Tasarımın bilgi içeriği en aza indir. Tasarımlar içerisinde başarı olasılığı en yüksek olan çözümü seç.

Bilgi içeriği karmaşıklığın bir ölçümüdür [68]. Bilgi içeriği en az olan tasarım en iyi tasarımdır. Söz konusu tasarım için birkaç tasarımın mevcut olduğu bir durumda karar vermeyi sağlar [67].

6.5.3.7 Tasarım Sonuçları

Tasarımın 2 aksiyomundan direkt olarak türetilecek birçok sonuç çıkartılabilir. Bu sonuçlar, gerçek durumlarda aksiyomların kendilerinden daha kolay bir şekilde uygulanabildiğinden dolayı, özel tasarım kararlarının verilmesinde daha faydalı olabilir. Sonuçların hepsi belirtilen iki temel aksiyomdan türetilmiş olup, tasarım kuralları ismini alabilir [53].

Sonuç 1: Bağlı tasarımın ayrılmış tasarıma dönüştürülmesi

Önerilen bir tasarımın fonksiyonel ihtiyaçları bağımsız değilse, fonksiyonel bağımsızlığı ayrılmış tasarım ile sağla.

Sonuç 2: Fonksiyonel ihtiyaçların en aza indirilmesi

Fonksiyonel ihtiyaçların sayılarını ve kısıtları en aza indir. Örneğin her bir proseste en az sayıda adımı kullan.

Sonuç 3: Fiziksel parçaların birleştirilmesi

Eğer önerilen çözümde fonksiyonel ihtiyaçlar bağımsız olarak karşılanabilirse, tasarımın özelliklerini tek bir fiziksel parçada birleştir.

Sonuç 4: Standardizasyonun kullanımı

Eğer parçalar, fonksiyonel ihtiyaçlarla ve kısıtlarla uyumlu ise, standart ve değiştirilebilir olan bu parçaları kullan.

Sonuç 5: Simetrinin kullanımı

Eğer simetrik şekiller ve/veya düzenlemeler fonksiyonel ihtiyaçlar ve kısıtlarla uyumlu ise, bunları kullan. Örneğin sağ el ve sol el parçalarını beraber yap sonra bunları ayırt et.

Sonuç 6: En geniş tolerans

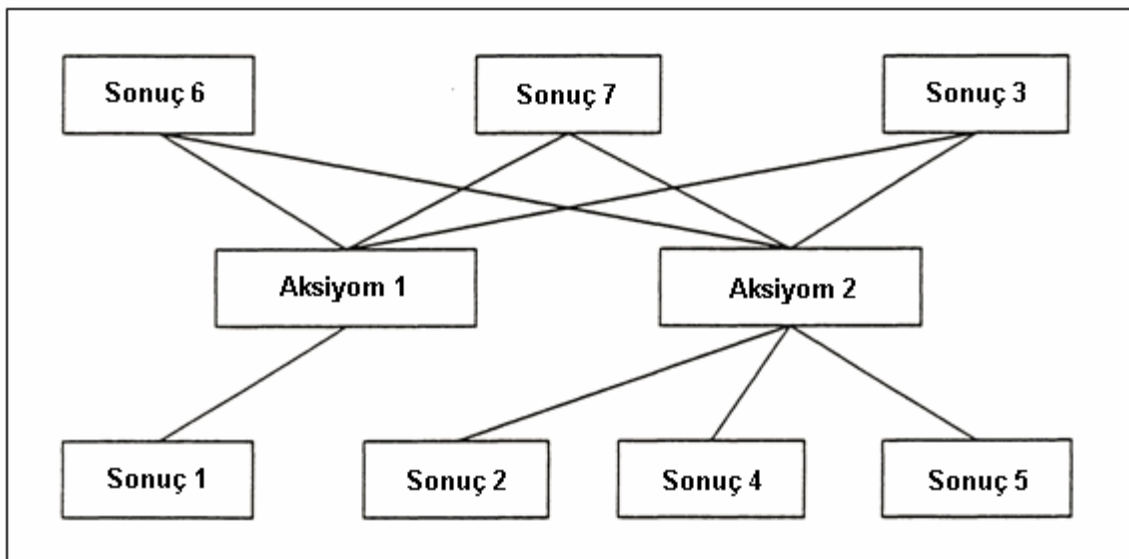
Belirlenmiş fonksiyonel ihtiyaçlardaki mümkün olabilen en geniş toleransa karar ver. Parçalarda mümkün olan en geniş toleransları kullanarak maliyetleri azalt.

Sonuç 7: Daha az bilgi ile ayrık tasarım

Fonksiyonel ihtiyaçların karşılanabildiği durumlarda, daha az bilginin gerektiği ayrık tasarımı araştır ve bağlı tasarıma göre bu tasarımı tercih et.

Şekil 6.31 yukarıdaki sonuçlar ile belirtilen aksiyomlar arasındaki ilişkileri göstermektedir. Sonuç 1, aksiyom 1'in direkt sonucudur. Sonuç 3, 6 ve 7 ise aksiyom 1 ve 2'den türetilmiştir. Sonuç 2, 4 ve 5 ise aksiyom 2'den türetilmiştir. Bu sonuçlardan bir kısmının anlamı açık bir şekilde görülmektedir. Fakat bir kısmının görülen daha derin anlamları vardır.

Bu sonuçlara ek olarak birçok sonuç çıkarılabilir. Önceki aksiyom ve sonuçlardan türetilen her bir öneri aynı zamanda bir sonuçtur.



Şekil 6.31 Sonuçların aksiyomlarla ilişkisi [53]

6.5.3.8 Tasarım Teoremleri

Teorem, kendi kendine ispatlanamayan ancak kabul edilen aksiyomlarla ispat edilebilen önerilerdir. Bu nedenle teorem, bir kural veya ilkeye eşdeğerdir. Bir teorem, teoremi ortaya çıkaran aksiyom geçerli ise geçerlidir. Bu bağlamda oluşturulan teoremler şunlardır (Suh, 1990);

Teorem 1: Tasarım parametrelerinin yetersiz sayısından dolayı bağlı tasarım

Tasarım parametrelerinin sayısı fonksiyonel ihtiyaçların sayısından az olduğunda, çözüm tasarım ya bağlı tasarımla sonuçlanır ya da fonksiyonel ihtiyaçlarını karşılayamaz.

Teorem 2: Bağlı tasarımın ayrılmış tasarıma dönüştürülmesi

Bir tasarım, fonksiyonel ihtiyaçları sayısının tasarım parametreleri sayısından büyük olması ($m > n$) nedeniyle bağlı bir tasarımsa; bu tasarım, tasarıma ait fonksiyonel ihtiyaçlar sayısı tasarım parametreleri sayısına eşit olacak şekilde, yeni tasarım parametresi ilave edilerek ayrılmış tasarıma dönüştürülebilir. Tasarım matrisi alt kümesi, üçgensel matris oluşturacak $m \times n$ eleman içermektedir.

Teorem 3: Fazlalık tasarım

Fonksiyonel ihtiyaçların sayısından daha fazla tasarım parametreleri olduğunda, tasarım ya fazlalık tasarım ya da bağlı tasarım olur.

Teorem 4: İdeal tasarım

İdeal tasarımda tasarım parametrelerinin sayısı fonksiyonel ihtiyaçların sayısına eşittir.

Teorem 5: Yeni bir tasarım

Mevcut bir fonksiyonel ihtiyaçlar kümesi, yeni bir fonksiyonel ihtiyacın eklenmesi, yeni bir fonksiyonel ihtiyacın mevcut bir fonksiyonel ihtiyaç ile yer değiştirmesi veya tamamen farklı bir fonksiyonel ihtiyaçlar kümesinin seçilmesi ile değiştiğinde, ilk tasarım parametreleri tarafından verilen tasarım çözümü yeni fonksiyonel ihtiyaçlar kümesini karşılayamaz. Bu nedenle yeni bir tasarım çözümü aranmalıdır.

Teorem 6: Ayrık tasarımın yol bağımsızlığı

Ayrık tasarımın bilgi içeriği, mevcut fonksiyonel ihtiyaçlar kümesini karşılamak için değiştirilen tasarım parametrelerinin değiştirildiği sıralamadan bağımsızdır.

Teorem 7: Bağlı ve ayrılmış tasarımların yol bağımlılığı

Bağlı ve ayrılmış tasarımların bilgi içeriği, tasarım parametrelerinin değiştirildiği sıralamaya ve bu tasarım parametrelerinin değişiminde belirtilen yollara bağımlıdır.

6.5.3.9 Tasarım Matrisi

Suh'a göre bir tasarım ancak ayrık ya da ayrılmış ise bağımsızlık aksiyomunu sağlayacak, dolayısıyla durağan ve kontrol edilebilir olacaktır. Ayrık tasarımlar en iyi tasarımlardır. Bağlı tasarımları alt bileşenlerine ayırmak imkânsızdır. Çünkü tasarım parametrelerindeki en küçük değişimler, değişkenliğe ve kontrol edilemezliğe yol açacaktır. Sonuçta bağlı olma durumu, daha önceki bir ihtiyacı gidermeye yönelik belirlenen tasarım parametresinin yanlış ya da yetersiz olduğunu ortaya çıkaracak, aynı ihtiyaç farklı bir parametrede yeniden giderilmeye çalışılacaktır. Bağlı tasarımlar ayrılmış tasarımlara dönüştürülerek karışıklık ortadan kaldırılır [69].

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişki matematiksel olarak (6.22) eşitliği ile tanımlanmıştır. Bu eşitliğe tasarım denklemi denir.

$$\{FR\} = [DM]\{DP\} \quad (6.22)$$

Daha ayrıntılı yazılırsa;

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ \vdots \\ FR_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} DM_{11} & DM_{12} & \dots & DM_{1j} \\ DM_{21} & DM_{22} & \dots & DM_{2j} \\ & \cdot & & \\ & \cdot & & \\ & \cdot & & \\ DM_{i1} & DM_{i2} & \dots & DM_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ \vdots \\ DP_j \end{Bmatrix} \quad (6.23)$$

Tasarım matrisindeki her DM_{ij} elemanı, FR vektörünün i'ninci elemanı ile DP vektörünün j'ninci elemanı arasındaki ilişkiyi gösterir.

$$\{dFR\} = [DM] \{dDP\}$$

Buradan tasarım matrisinin elemanları şu şekilde yazılabilir:

$$DM_{ij} = \partial FR_i / \partial DP_j$$

Tasarım matrisinin ayrık (uncoupled, matrisin köşegen olmayan elemanları sıfır), ayrılmış (üçgensel, decoupled veya quasi-coupled, matrisin köşegen elemanlarının üstünde kalan elemanları sıfır) ya da bağlı (coupled, üstte kalan köşegen olmayan sıfırdan farklı elemanların

olduğu özel yapısı olmayan matris) yapısı tasarımın türünü tanımlamaktadır [67]. Eşitlik 6.26'da, 6.27'de ve 6.28'de bu yapılar gösterilmiştir.

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X & X & X \\ X & X & X \\ X & X & X \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix} \quad \text{Bağlı Tasarım} \quad (6.26)$$

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix} \quad \text{Ayrılmış Tasarım} \quad (6.27)$$

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix} \quad \text{Ayrık Tasarım} \quad (6.28)$$

Fiziksel alan ile süreç alanı arasındaki ilişki benzer şekilde yazılabilir [68]:

$$\{DP\} = [PDM]\{PV\} \quad (6.29)$$

6.5.3.10 Bilgi İçeriğinin Hesaplanması

Matematiksel olarak bilgi içeriği, fonksiyonel ihtiyacın karşılanması olasılığının logaritması alınarak ifade edilebilir. Buna göre için bilgi içeriği;

$$I_i = \log \frac{1}{P_i} = -\log_2 P_i \quad (6.30)$$

şeklinde ifade edilir. Burada [55];

Ii: FRi için bilgi içeriği

Pi: Fonksiyonel ihtiyacı karşılama olasılığı,

log₂: 2 tabanında logaritmadır.

Shannon tarafından yapılan tanımlamaya göre n tane fonksiyonel ihtiyacın toplam bilgi içeriği hepsinin karşılanma olasılıklarının toplamı olacak ve bu toplam sonsuza yaklaştıkça sistem çalışmayacaktır. Bütün olasılıklar toplamı 1 ise bilgi içeriği sıfır ve bir veya birden fazla olasılık sıfıra eşit olduğunda gereksinim duyulan bilgi sonsuz olacaktır [70].

$$I_{\text{Sistem}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$I_{\text{Sistem}} = \log_2 \left(\frac{1}{p_1} \right) + \log_2 \left(\frac{1}{p_2} \right) + \log_2 \left(\frac{1}{p_3} \right) + \dots + \log_2 \left(\frac{1}{p_n} \right) \quad (6.31)$$

$$I_{\text{Sistem}} = - \sum_{i=1}^n \log_2 P_{i\{j\}} \quad \{j\} = \{1, 2, \dots, j-1\} \quad (6.32)$$

En iyi tasarım aşağıdaki formülle elde edilir.

$$I_{\min} = \min \{ \sum_{i=1}^n I_i \} \quad (6.33)$$

Aksiyomlarla tasarım yaklaşımında “tasarım aralığı”, tasarımcının toleranslar bazında ulaşmak istediği seviyeyi ifade etmektedir. Aynı zamanda “sistem aralığı” ise sistem kapasitesini ifade etmektedir ve bir tasarımda başarı olasılığı, tasarım aralığı ile sistem aralığı değerlerine bağlıdır. Şekil 6.32’de gösterildiği gibi, tasarımcı tarafından belirlenen “tasarım aralığı” ve sistem yeterliliği olan “sistem aralığı” arasında kalan bölge “kabul edilebilir çözüm aralığı” olarak değerlendirilir. Buna bağlı olarak üniform olasılık dağılım fonksiyonu (P_i) Eşitlik (6.34)’de gösterildiği gibi yazılabilir:

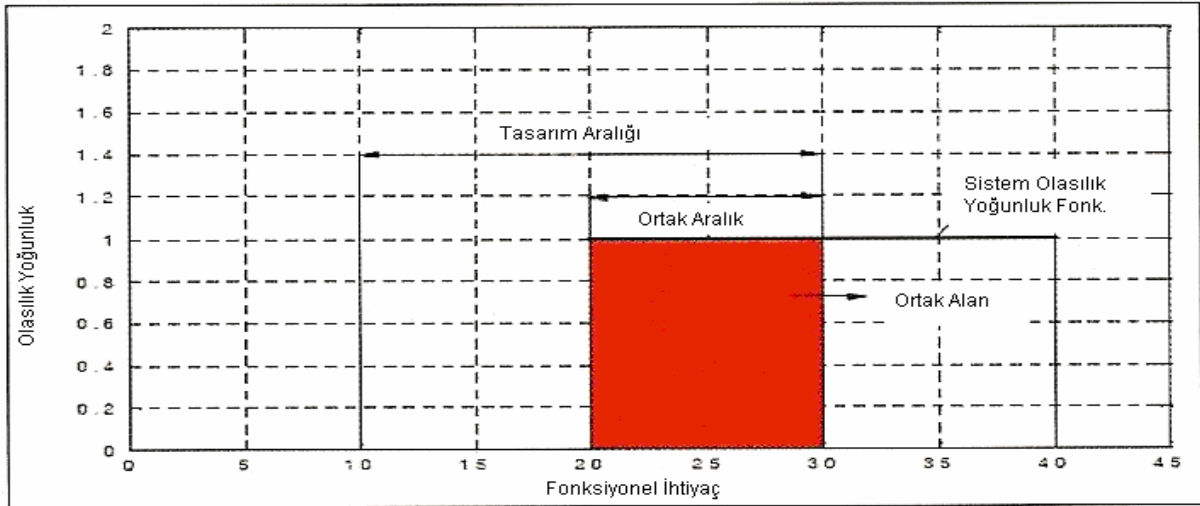
$$p_i = \left(\frac{\text{Ortak Alan}}{\text{Sistem Alanı}} \right) \quad (6.34)$$

Bu durumda, bilgi içeriği eşitlik (6.35)’de gösterildiği gibi yeniden yazılır:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Alanı}}{\text{Ortak Alan}} \right) \quad (6.35)$$

(FR_i) sürekli rastsal bir değişken ise, tasarım aralığında karşılanma olasılığı eşitlik (6.36)’da verildiği gibi hesaplanır:

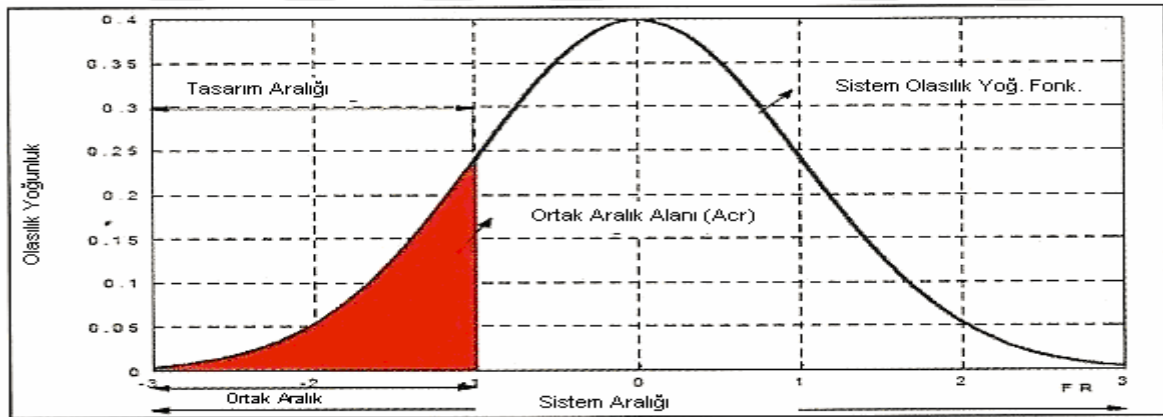
$$p_i = \int_{dr^t}^{dr^s} p_s(FR_i) dFR_i \quad (6.36)$$



Şekil 6.32 Fonksiyonel ihtiyaçlar için tasarım aralığı, sistem aralığı ve ortak aralık-1 (Suh, 1990)

$P_s(FR_i)$, FR_i için sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonunu ifade etmektedir. Eşitlik (6.37), sistemin alt sınırı ($dr1$) ve üst sınırı (dru) arasındaki tasarım aralığında başarıya ulaşma olasılığını, sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonu ile birleştirerek ortaya koymaktadır. Şekil 6.33'te ortak aralığın (Acr) alanı, başarıya ulaşma olasılığına (P_i) eşittir [53].

Bu durumda bilgi içeriği için eşitlik (6.37)'de verildiği gibi ifade edilmektedir.



Şekil 6.33 Fonksiyonel ihtiyaçlar için tasarım aralığı, sistem aralığı ve ortak aralık-2 (Suh, 1990)

$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{A_{cr}} \right) \quad (6.37)$$

Herhangi bir tasarımda başarı olasılığı, tasarımcının ulaşmak istediği aralık (tasarım aralığı) ile sistemin karşılayabileceği bir aralık (sistem aralığı) cinsinden verilebilir. Fonksiyonel ihtiyaçların olasılık yoğunluğuna göre çizilen grafiğinde aralıklar belirlenerek kesişimi alınır. Tekdüze dağılımda dağılım fonksiyonu şu şekilde yazılabilir [71]:

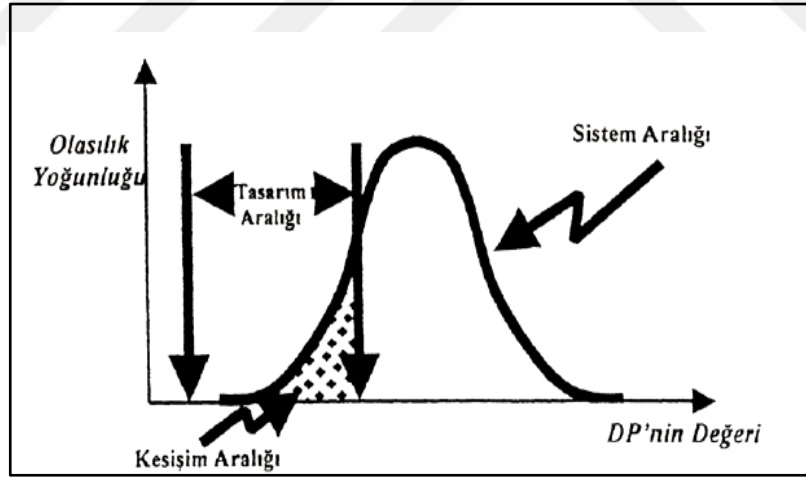
$$p_i \leq 1$$

$$p_i = (\text{Kesişim aralığı} / \text{Sistem aralığı}) \quad (6.38)$$

$$I_i \geq 0$$

$$I_i = \log_2 (\text{Sistem aralığı} / \text{Kesişim aralığı}) \quad (6.39)$$

Buradan çıkarılacak sonuç; herhangi bir ek çabaya gerek duyulmaksızın tasarım sistem tarafından karşılanabiliyor, sistem aralığı tasarım aralığı ile kaplanıyor ise (sistem aralığı/kesişim aralığı = 1) $I = 0$ olacaktır. Tasarım aralığı sistem aralığını kaplamıyor ise, diğer bir deyişle kesişim aralığı = 0 ise $I = \infty$ olacaktır. Bir ürün ya da hizmetin bilgi içeriği arttırıldıkça karmaşıklığı ve çıkabilecek sorun sayısı artacaktır. Olabildiğince basite indirmek başarıyı beraberinde getirir. Şekil 6.34’de bu durum ifade edilmiştir [72].



Şekil 6.34 Düzgün olasılık dağılımı

6.6 Tasarımın Uygulanması (T5)

Bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu kullanılarak alternatif taşıma yöntemleri içinden ön hazırlık aşamasında elde edilen müşteri istekleri doğrultusunda en uygun taşıma yönteminin seçilmesinin tamamlanması ve seçilen yöntemin bağımsızlık aksiyomuna göre tasarlanması ardından mevcut tasarımın uygulanmasına geçilecektir.

6.7 Tasarımın Belirlenen Performans Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi (T6)

Günümüzün artan rekabet ortamında firmaların başarılı olabilmesi için hedefler koyması ve bu hedeflere ulaşması için gerekli çabayı göstermesi gerekmektedir. Bu çerçevede firmaların sisteme özgü performans hedeflerini belirlemeleri ve bunları başarmaya yönelik sistemlerini sürekli olarak değerlendirmeleri ve geliştirmeleri kaçınılmazdır. Özellikle de sayısal hedefleri koyarak, ölçmek ve geliştirmek performansın geliştirilmesinde vazgeçilmezdir.

6.8 AD İlkelerine Göre Performans Geliştirme Prosedürü (T7)

Gerçekleştirilen tasarımın uygulanmasının ardından elde edilen sonuçların istenilen performans değerlerine ulaştırılması ve tasarımın bu amaç doğrultusunda değerlendirilmesi için performans geliştirme prosedürü uygulanması gerekmektedir. Performans geliştirme prosedürü de sistem tasarımının gerçekleştirilmesinde kullanılan AD ilkeleriyle gerçekleştirilebilir.

6.9 Mevcut Taşıma Sisteminin Geliştirilmesi (T8)

AD ilkelerine göre performans geliştirme prosedürünün kullanılmasıyla seçilen ve AD ile tasarlanan sistemin geliştirilmesi sağlanabilir. Gelişimi sağlanmış sistem, uygulamaya son haliyle alınacak ve sürekli olarak belirlenen performans kriterlerine göre değerlendirmeye tabi tutulacaktır.

6.10 Yeni Hedeflerin Belirlenmesi (T9)

Uygulamaya alınan sistemin performans değerlendirme kriterlerine göre sürekli olarak uygun sonuçlar sağlaması durumunda yeni hedeflerin belirlenmesi ve sistemin belirlenen yeni hedefler doğrultusunda değerlendirmeye alınması gerekmektedir.

6. 11 Aksiyomlarla Tasarım Literatür Taraması

Bu bölümde aksiyomlarla tasarım yönteminin kullanıldığı çalışmalardan oluşan literatür taraması açıklanacaktır.

Aksiyomlarla tasarım literatürü incelenirken literatürdeki çalışmalar çalışmanın yazarları, çalışmanın yılı, çalışma kapsamında kullanılan aksiyom(lar) ve çalışmanın gerçekleştirilmesinde odaklanılan alan başlıklarında analize tabi tutulmuş ve literatür çizelgesi oluşturulmuştur. Aksiyomlarla tasarım literatürüne EK B’de yer verilmiştir.

Black ve Schroer (1988), yaptıkları çalışmada hücresele üretim sisteminde birincil fonksiyonel ihtiyaç olan esnekliğı sağlayacak tanımlanmasını, gösterilmesini ve kullanılmasını açıklamaktadır.

Suh (1990), yaratıcı tasarımlar ortaya çıkaran makinelerin tasarlanması için AD yaklaşımını kullanarak geliştirdiğı kavramsal tasarım modelini sunmuştur. Düşünen tasarım makinesi, doğru karar verme yeteneğine sahip olan ve yaratıcı tasarımların sentezi için zengin bir bilgi veri tabanına sahip olan bilgisayar olarak ifade edilmiştir.

Kim vd. (1991), bilgisayarların gelişimi ile her alanda ihtiyaç duyulan yazılımların, gelişimini hızlandıran güvenilirliğini ve yeniden kullanılabilirliğini artıran yazılım tasarımı için AD yaklaşımı ile kavramsal bir model geliştirmiştir.

Suh (1995), ürün kalitesi ve süreç verimliliğini etkileyen ürün ve süreç tasarımı aşamasında verilen kararlara yardımcı olması için kavramsal bir çerçeve geliştirilmiştir. Önerilen yöntem, kaliteyi geliştirmek için kullanılan istatistiksel süreç kontrolü (SPC) ve diğer yöntemlerin AD yaklaşımı yani bağımsızlık ve bilgi aksiyomları ile tutarlı olmasını önermektedir.

Gunasekera ve Ali (1995), bir metal şekil verme sürecinin tasarımı için hiyerarşik tasarım ve analiz yöntemini geliştirdi. Geliştirilen yöntem kavramsal tasarım, ilk tasarım ve son tasarımdan oluşan üç adımlı tasarım prosedürünü içermektedir. Kavramsal tasarım, kısıtlar altında analiz edilmiş ve optimuma ulaştıracak parametrelere karar vermek için kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem, metale şekil veren bir süreç için zaman ve kaynak kullanımını azaltan güçlü bir çözüm sağlamaktadır.

Harutunian vd. (1996), büyük bir sistemin AD yaklaşımına göre tasarlanması sürecinde bilgi yönetimini sağlayan bir yazılımı AD yaklaşımı kullanarak tasarladıklarını belirtmiş ve ilgili yazılım hakkında tanıtım bilgileri sunmuştur. AD yazılımı, aksiyomlarla tasarımın temelleri olan fonksiyonel ihtiyaçlar, tasarım parametreleri ve proses değişkenleri bilgi alanları ile tasarım matrisini içermektedir. Geliştirilen yazılım, AD yaklaşımına bağılı olarak tasarım sürecinin her adımındaki karar vermeyi dokümanete etmekte ve tasarımcıya kolaylıklar sağlamaktadır.

Gazdik (1996) yaptığı çalışma ile tüm tasarımcılara katkı sağlaması için, aksiyomlarla tasarım yöntemi ve boyutlu analizlerin temel düşüncelerini özetlemiştir. Çalışmanın büyük bir kısmı, bulanık küme aritmetiğinin gerekli elemanlarının bir araya getirmesini içermektedir. Aksiyomlarla tasarım yöntemi ile boyutlu analiz yöntemleri arasındaki benzerliğı göstermek için, bir mekanizma tasarım sorunu incelenmiştir.

Park ve Suh (1996), kuvvetlendirici olarak kısa kesikli lifleri kullanan polimer esaslı karma parçaların tabakalandırılmış üretimi için hızlı bir üretim sürecini AD yaklaşımını kullanarak tasarlamıştır. Yöntemde, AD yaklaşımının bağımsızlık aksiyomu kullanılmıştır.

Tseng ve Jiao (1997), elektronik ürünlerin tasarımı sırasında modüllerin tanımlanması ve oluşturulması sorununu çözümleyen bir yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen yöntem elektronik bir ürün olan güç kaynağı tasarımında uygulanmıştır.

Suh (1997), sistemleri tanımlayan, sınıflandıran ve tasarlanmaları için kavramsal tasarı önerileri sunan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile sistemler fonksiyonel ihtiyaç sayılarına göre büyük ve küçük sistemler olarak sınıflandırılmıştır. Küçük sistemler, zamanın bir fonksiyonu olarak değişmeyen ve sınırlı sayıda fonksiyonel ihtiyaçlara sahip olan sistemler olarak tanımlanmıştır. Büyük sistemler ise tanımlama safhasındaki yüksek seviyedeki fonksiyonel ihtiyaçlar sayısının geniş olduğu sistemler olarak ifade edilmiştir.

Goel ve Singh (1998), ürün tasarımı süreci boyunca yaratıcılığı ve yeniliği birleştiren bir yöntem geliştirmiştir. Yaratıcılık ve yenilik içeren çeşitli yöntemler değerlendirilmiş ve ürün kavram tasarımına katkı sağlayan bir yaklaşım oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, bir ürünün tasarlanma sürecinin 5 adımdan oluştuğu belirtilmekte ve her adımda yaratıcılığın ve yeniliğin gerekliliği vurgulanmaktadır.

Suh vd. (1998), müşteri istekleri doğrultusunda ideal bir üretim sistemi tasarlamak için, AD yaklaşımı kullanarak yalın ilkeleri içeren bir yöntemi geliştirdi. Geliştirilen yöntem ile en üst düzeydeki fonksiyonel ihtiyacı (FR1) "yatırımın geri dönüşünü maksimum yap" amacını karşılamak için kalite, maliyet ve teslim süresi ölçütlerini sağlayan bir üretim sisteminin tasarımı amaçlanmıştır.

Cochran vd. (1998) tarafından günümüzdeki rekabet koşullarına uygun hedefleri başarabilecek, yalın üretim prensiplerine göre hazırlanmış Üretim Sistemi Tasarımı Ayrışımı (MSDD)'ni kullanan stratejik performans ölçümü yöntemi önerilmiştir. MSDD Aksiyomlarla tasarım yönteminin bağımsızlık aksiyomunu kullanarak oluşturulmuş bir rehberdir.

Babic (1999), esnek üretim sistemi tasarımı sırasında etkin bir karar destek sistemi ile birlikte, en uygun esnek üretim sistemi düzenlemesini sağlayan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem, esnek üretim sistemlerinin tasarımında aksiyomlarla tasarım yöntemini ve yine esnek üretim sistemlerinin tasarımı için geliştirilen bir zeki sistemi içermektedir.

Cha ve Cho (1999), tasarımı mevcut olan bir DVD'yi değerlendiren ve yine bu DVD tasarımını AD yaklaşımı ile geliştiren bir yöntemi sunmuştur. Önerilen yöntemle DVD performansının

geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, performans gelişimini sağlayan fonksiyonel ihtiyaçlar belirlenmekte ve AD yöntemi ile DVD tasarımı geliştirilmektedir. Bu çalışma sırasında AD yaklaşımının bağımsızlık aksiyomu kullanılmıştır.

Suh ve Do (2000), büyük bir yazılım sistemini tasarlamak için Object-oriented programlama ile AD yönteminin birleştirilmesi ile geliştirilen bir yöntemi (Ado-oSS) sunmuştur. Geliştirilen yöntem ile yazılım tasarımlarının başından sonuna kadar doğru bir şekilde tasarlanması ve yazılım temin sürelerinin olabildiğince kısaltılması amaçlanmıştır. Ado-oSS yöntemi kullanılarak, büyük bir ticari yazılım olan Acclaro geliştirilmiştir. Acclaro'nun geliştirilen yöntemle tasarlanma süreci detaylı olarak sunulmuştur. Geliştirilen yöntemde AD yaklaşımının bağımsızlık aksiyomu kullanılmıştır.

Cochran vd. (2000a), başarılı bir üretim sistemi tasarımı elde etmek için, üretim sistemini küçük, esnek ve merkezi olmayan üretim birimlerine yani üretim kısımlarına dönüştüren bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, yalın yönetim prensipleri ile kısımlandırma yaklaşımını birleştiren ve aksiyomlarla tasarım yöntemi tarafından yönlendirilen bir yapıya sahiptir.

Cochran ve Kim (2000), yaptıkları çalışma ile firmalarda karşılaşılan sorunları uygulama ortamında çözüm bulma fırsatı sunarak üretim sistemi tasarımını öğreten ve Cochran tarafından geliştirilen bir ders işleme yöntemini sunmuşlardır. Ders kapsamında anlaşma sağlanan firmaların üretim sistemi ile ilgili ortaya çıkan sorunlarını çözmek ve yeni bir tasarım oluşturmak için aksiyomlarla tasarım yöntemi kullanılmıştır.

Lenz ve Cochran (2000), tarafından yapılan çalışmada ürün geliştirme konusu AD ile incelenmiştir. Söz konusu çalışmada bilgi dönüşüm süreci ve fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametrelerinin detaylandırılması işlenmiştir.

Engelhardt ve Nordlund (2000)'nin stratejik tasarım ve planlama üzerine yaptıkları çalışmada AD'nin bir araç olarak kullanıldığında hedefler ile stratejiler arasında güçlü bir ilişki sağladığı görülmüştür.

Yang ve Zhang (2000), yaptıkları çalışmada AD'nin 2 aksiyomundan türetilen 7 sonucu, TRIZ ile bağlantılı 3 teoremi kıyaslama için kullanmışlardır.

Werneman vd. (2000), tarafından yapılan çalışmada operasyon geliştirme konusunda AD kullanılmış ve tasarım konusundaki ortak problemin sistem yaklaşımı, algı ve bilinç eksikliği olduğu ileri sürülmüştür. Müşteri bilgi alanının vizyonu, fonksiyonel bilgi alanının amaçları fiziksel bilgi alanının stratejileri ve süreç bilgi sahasının aktivite ve ölçümleri temsil ettiği öne sürülmüştür.

Chen vd. (2001), üretim hücrelerinin performansını artırmak için simülasyon yöntemini de kullanan bilgi tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Karar verme sürecini sağlayan hiyerarşik bir bilgi tabanlı yapıyı oluşturmak için aksiyomlarla tasarım yöntemi rehber olarak kullanılmıştır. Takip edilen bağımsızlık aksiyomu yardımıyla etkili ve tutarlı çözümler üreten bilgi tabanlı yapı sistematik bir şekilde oluşturulmuştur.

Houshmand ve Jamshidnezhad (2002), yalın üretim prensiplerine uygun bir üretim sistemi tasarımı için AD yaklaşımını kullandıkları bir model geliştirmişlerdir. Bu model, yalın üretimin temel ihtiyaçları olan organizasyonel yetenekler, teknolojik yetenekler ve değer akışı analizi dikkate alınarak hazırlanmıştır. Suh vd. (1998) tarafından geliştirilen yöntemden farkı, üretim sisteminin organizasyonel yönünü daha çok dikkate almasıdır.

Donnarumma vd. (2002), yaptıkları çalışma ile sistem tasarımı sorunlarını, parametrelerin yumuşak (düşük düzeyde) bağımlılığını içeren modelleri kullanarak incelemişlerdir. Yumuşak tasarım, belirsiz ve kısmen doğru durumlar için sağladığı tolerans nedeniyle son zamanlarda ortaya çıkan Bayes yöntemi, maksimum entropi yöntemi ve minimum bilgi yöntemi gibi birçok yöntemi kullanmaktadır.

Huang (2002), ürün tasarımının değerlendirilmesi süreci boyunca ürün tasarım takımı ile ürün tasarımı değerlendirme takımı arasındaki işbirliğini kolaylaştıran, “Cyber Review” isimli bir model geliştirmiştir. Geliştirilen model, tasarım değerlendirme sürecindeki takımın karar verme faaliyetlerini desteklemektedir.

Baxter vd. (2002), bir tedarik tasarım sürecini desteklemek için aksiyomlarla tasarım yaklaşımı ile bir yöntem geliştirmişlerdir. Makalede tedarik zinciri sisteminin performansını değerlendirmek için maliyet, kalite, zaman, risk ve sorumluluk göz önünde bulundurulması gereken ana faktörler olarak belirtilmiştir. Yapılan çalışma ile Leeds üniversitesi öğrencileri tarafından yapılan formula tipi tek kişilik yarış arabası için gerekli tedarik zinciri sistemi tasarımında AD uygulaması ele alınmaktadır.

Söderberg ve Lindkvist (2002), bozucu etkilere dayanıklı bir kavram tasarımı ve ilgili süreç seçimine uygun bir yöntem ile bunlara ait bir yazılımı geliştirmişlerdir. Kavram tasarımı boyunca, tasarımcılar ile ürün mühendisleri parçaların nasıl montaj edilecekleri ve birbirine göre nasıl konumlandıracakları ile ilgili kararları vermek zorundadır. Oluşturulan montaj ve konumlandırma ile ilgili farklı kavram tasarımları farklı detaylı çözümleri ve dolayısı ile kritik ürün boyutları için farklı miktarlarda sapmaları ortaya çıkarmaktadır. Montaja duyarlılığı sağlamak için toleranslar belirlenir ve en son olarak toleransları başaran süreçler seçilir.

Belirtilen süreç boyunca ortaya çıkan farklı çözümleri değerlendirmek ve karşılaştırmak için bozucu etkilere karşı dayanıklı tasarım ve AD yönteminin temel düşünceleri, geliştirilen yöntem ve araçlar tarafından kullanılmaktadır. Yöntem ve ilgili yazılımın kullanılabilirliğini açıklamak için, farklı iki kapı montajı tasarımı ve zemin montajı tasarımı olmak üzere üç adet uygulama gösterilmiş ve bu tasarımlara etki eden faktörler değerlendirilmiştir.

Chen ve Feng (2003), aksiyomlarla tasarım yöntemi yardımı ile bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli mühendislik (CAD/CAE) yazılımının tüm fonksiyonlarını uygulayabilen bir bilgisayar destekli tasarım yöntemini geliştirmişlerdir. Geliştirilen tasarım yöntemi heterojen malzemelerden yapılan parçaların tasarlanması için sistematik ve etkin bir prosedürdür.

Calarge ve Lima (2004) tarafından AD çerçevesi altında oluşturulan kalite yönetim modelinde yatırımın geri dönüşünün (ROI) maksimuma çıkarılması temel amacından yola çıkılarak sistemik kalite yönetim modeli ile bu ihtiyaç giderilmeye çalışılmıştır. Bunun için;

$$\text{ROI} = (\text{Satış Geliri} - \text{Maliyet}) / \text{Yatırım} \quad (6.40)$$

formülünde yer alan kelimeler üzerinden ikinci seviyede satış gelirlerinin maksimuma çıkarılması, üretim maliyetinin minimuma indirilmesi ve yatırım maliyetlerinin minimuma indirilmesi olarak 3 fonksiyonel ihtiyaca ayrılmıştır. Bu ihtiyaçların tasarım parametreleri sırasıyla müşteri tatmini yüksek ürünler, belirlenmiş hedef maliyet ve üretimde sistemik yatırım değerlendirme olarak belirlenmiştir. Daha sonra tasarım 4. seviyeye kadar detaylandırılarak modelin tasarımı sonlandırılmıştır.

Hu vd. (2004) tarafından AD ile karşılaştırması en sık yapılan tasarım yöntemi TRIZ karşılaştırılmış ve oluşturulan karşılaştırmaların sonuçları tablolar halinde gösterilmiştir.

Kulak ve Kahraman (2005a) tarafından yapılan çalışmada, aksiyomlarla tasarımın bilgi aksiyomunu ve analitik hiyerarşi prosesini kullanılarak lojistik sektöründe faaliyet gösteren taşıma şirketleri arasından en uygun olanının seçilmesine ilişkin uygulama örneği göstermişlerdir.

Kulak ve Kahraman (2005b), gelişmiş üretim sistemlerinin karşılaştırılması aşamasında bulanık aksiyomlarla tasarım ve bulanık olmayan (crisp) aksiyomlarla tasarım yöntemlerini kullanmış ve sayısal uygulama sonuçlarını göstermişlerdir.

Kulak vd. (2005), ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış çok ölçütlü aksiyomlarla tasarım yaklaşımı geliştirerek, çalışmalarında bilgi aksiyomu kullanarak belirlenmiş kriterler altında en etkin üretim sistemi için en uygun ekipman seçimi çalışmasında bulunmuşlardır.

Thielman vd. (2005), gaz tribünlü modüler Helyum nükleer reaktörünün, reaktör boşluğunun soğutma sisteminin değerlendirilmesi ve optimize edilmesinde aksiyomlarla tasarım yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmalarında Suh'un aksiyomlarla tasarım teorisine bağlı kalarak bağımsızlık aksiyomunu kullanmışlardır.

Pappalardo ve Naddeo (2005), aksiyomlarla tasarım aksiyomlarını, olasılıklı olmayan ve tekrarlanan olaylar için genişletmiş, bunun için bilgi aksiyomunu kullanmışlardır. Çalışmadaki bilgi değerleri, değerler kümesi arasındaki eşitliğin bir ölçüsü olarak, aksiyometrik yapı içinde, fonksiyonel ihtiyaçların tasarım parametrelerinden daha fazla olduğu durumların veri analizi için uygulanmıştır.

Houshmand ve Jamshidnezhad (2005), proses değişkenlerini kullanarak yalın üretim sisteminin aksiyomlarla tasarım modelini kurmuşlardır. Aksiyomlarla tasarım metodolojisine uygun olarak, fonksiyonel ihtiyaçların, tasarım parametrelerinin ve proses değişkenlerinin birleşimi olan yalın bir üretim sisteminin tasarım prosesinin modellenmesi için hiyerarşik bir yapı geliştirmişlerdir.

Hirani ve Suh (2005), akışkan film sabiti yüklü günlük ürünlerin geliştirilmesi için optimum tasarım metodolojisine değinmişlerdir. Aksiyomlarla tasarımı objektif fonksiyonlar ve tasarım değişkenlerini sağlamak için kullanılmıştır. Günlük ürünlerin optimum tasarımında, radyal temizlik, çap oranının uzunluğu, yağ viskozitesi ve tedarik basıncı gibi tasarım değişkenleri, eşzamanlı olarak yağ akışını ve güç kaybını minimize etmek için kullanılmaktadır.

Yi ve Park (2005), mühendislerin darbe hızını kesen Genleştirilmiş Polistiren (EPS), tampon paketini tasarlamasına yardımcı olması için, aksiyomlarla tasarlanmış yazılım sistemi geliştirmiştir. Bu proste, hedef yönlü programlama için V-modeli benimsenmiş ve kodlama yazılım tasarım baz alınarak yürütülmüştür. Bu noktada aksiyomlarla tasarım yaklaşımın yazılım gelişimi için oldukça kullanışlı olduğu fark edilmiştir.

Schnetzler vd. (2006) çalışmalarında, tedarik zinciri stratejisinin gelişimi için, tedarik zinciri yönetimine aksiyomlarla tasarım yaklaşımının uygulanmasına yer vermiştir. Aksiyomlarla tasarım ilkeleri doğrultusunda, bağımsızlık aksiyomunu kullanarak, tedarik zinciri yönetiminin hedefleri ve sonuçlarının ayrımını yapan, tedarik zinciri tasarımının ayrıştırılması metodunu geliştirmişlerdir.

Heo ve Lee (2007), aksiyomlarla tasarım kullanarak, nükleer güç ünitelerinin acil öz soğutma sisteminin tasarım prosesinin incelenmesi için bir metodoloji önermişlerdir. Aksiyomlarla tasarım kullanılarak yapılan tersine mühendislik çalışması, iki ayrı acil soğutma sisteminin tasarım stratejilerinin koordinasyonu açısından kıyaslanmasına yardımcı olmuştur.

Liang (2007) ikon tasarımı için, bağımsızlık ve bilgi aksiyomu olarak iki aksiyomu baz alan metod kullanmıştır. Semiyotik ve insan bilgi prosesi açısından, simgelemenin görsel ayırt ediciliği ve uygunluğu ikon tasarımındaki iki önemli faktördür. Çalışmada, ikonların ayırdedilebilirliğinin bağımsızlık aksiyomu ile analiz edilebileceği, anlamlılığının ise bilgi aksiyomu ile değerlendirilebileceği ileri sürülmüştür.

Tasarımcılar, ürün tasarımında aksiyomlarla tasarımın kullanılmasıyla, çevresel problemleri içeren zorunlu ve gerekli fonksiyonel ihtiyaç ile kısıtlar kümesini sağlayan hizmetin veya ürünün final düzenlemesini temin edebilir.

Stiassnie ve Shpitalni (2007), yapay bir vaka çalışması olarak, modern bir üretim sisteminin tasarlanmasında, çevresel etmenlerin aksiyomlarla tasarımın başlangıcında entegre edilmesinin, çevre dostu ürün veya hizmetin gelişimine nasıl yol gösterebileceğine değinmişlerdir.

Aksiyomlarla tasarım, tasarım prosesinin karar verme sistemini sağlayan bir mühendislik tasarım teorisidir.

Gonçalves-Coelho (2007) yaptıkları çalışmada, aksiyomlarla tasarımın, her ürün ve ilgili üretim prosesi arasındaki ilişkinin farkına varılmasına nasıl olanak sağladığını göstermişlerdir. En uygun üretim prosesini seçmek amacıyla, bir örnekte mekanik komponentin son tasarım detaylarını elde etmek için aksiyomlarla tasarımın bilgi aksiyomunu uygulamışlardır.

Nakao vd. (2007), kısaltılmış temin süresi için geliştirilen dikilmiş ürünlerin üretim proseslerini ayırtıran yeni bir navigasyon metodu geliştirmişlerdir. Aksiyomlarla tasarım, üretim proseslerini iki tasarım eşitliği ile açıklar; bunların biri proses tanımlamanın fonksiyonel ihtiyaçları ve proses kararlarının tasarım parametreleri, diğeri ürün tamamlanma zamanının tahmininin fonksiyonel ihtiyaçları ve ürünün önceliği tasarım parametreleridir. Bu navigasyon metodolojisinin uygulanmasıyla kalıp imalatında insansız çalışan makinenin işlem zamanı 44 günden 7.7 güne indirilmiştir.

Liu vd. (2007) aksiyometrik bulanık kümeler ile formal konsept analizi (veri analizi ve bilgi kazanmak için kullanılan bir teoridir) ve aksiyometrik bulanık küme cebiri ile kavram çerçevesi içinde bazı cebirsel homomorfizmler saptamışlardır. Sonuç olarak bu çalışmada aksiyometrik

bulanık küme teorisinin, pratikte bilgi kazanımı ve gösterimi için uygulamalarla yapay zekâ sistem analizi ve tasarımı, çok daha esnek ve etkili bir yaklaşım sunduğu ortaya çıkmıştır.

Çelik vd. (2007) çalışmalarında, tersanenin çapraz havuzlama tesisinde, geminin teknik yöneticileri için karar yardımı ve etkili bir biçimde bu sorumluluğu yerine getirmelerini sağlamak için sistematik değerlendirme modeli incelemişlerdir. Çok kriterli bulanık aksiyomlarla tasarım yaklaşımı, tersaneler arasında her bir kriter için tasarım sürelerinin belirlenmesi, bulanık aksiyomlarla tasarımdan yararlanarak seçimin yapılması amacıyla kullanılmıştır. Karar ağaçları, ilginç ve çokça karşılaşılan, öğrenme, düşünme ve veri kümesinin organizasyonu için kullanılan yapılardır.

Liu ve Pedrycz (2007), yaptıkları çalışmada yerleştirilmiş karar ağaçları alanında 2 ana hedef belirtmişlerdir. Bunlardan ilki, bulanık kümelerin (üyelik fonksiyonları) oluşturulmasında yeni bir algoritmik yapının kullanılması ve bunların aksiyometrik bulanık küme teorisinin kuramsal bulguları merkezli mantıksal operatörleridir. İkincisi de bu yapı içinde tasarım prosesinin değiştirilmesini sağlayan bulanık karar ağaçlarıdır.

Togay vd. (2008) baştan kod değiştirilmesine bir alternatif olarak hizmet odaklı gelişimi destekleyen bul-entegre et ve böl-fethet tekniklerini uygulamışlardır. Çalışmalarında aksiyomlarla tasarımı kullandığı komponent-yönlü yaklaşımı, yüksek seviye mimari birliği geliştirme ve uygulama prosesine adapte edilmişlerdir.

Bang ve Heo (2008), çalışmalarında nano akışkanların tasarımını, ileri kullanımlarına kolaylık getirmek amacıyla sistematize etmek için aksiyomlarla tasarım teorisini uygulamışlardır. Aksiyomlarla tasarım teorisinin bağımsızlık aksiyomu ile ilgili olarak, fonksiyonel ihtiyaçlar ve nanoakışkan sistemin parametreleri arasındaki aşırı bağların bütün sistemin fonksiyonel hedefleri ile karşılaşması engellenir. Bu çalışma, nano akışkanların araştırmasında standart tebliğ protokolü sağlanmasına katkıda bulunmuştur.

Durmuşoğlu ve Kulak (2008) aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak kullanışlı bir ofis operasyonu için bir metodoloji geliştirmişlerdir. Aksiyomlarla tasarım, tasarım hedeflerini biçimlendirirken, iyi anlaşılmış tüm gerekli bilgilerin ve örneklerin kullanılmasını sağlar. Çalışmada, bu prensipler ofis hücrelerinin tasarımı için kullanılmış, metodolojinin ofis operasyonlarını geliştireceği ve iş rekabetine katkıda bulunacağı ifade edilmiştir.

Shin vd. (2008) aralayıcı parmaklıklar üzerinde çalışmışlardır. Aralayıcı bir parmaklıktaki patlamalar, nükleer yakıt sistemindeki yakıt gücünü destekler. Aralayıcı parmaklık yakıt dönüştürücüsünün bir parçasıdır. Patlamalar tekrarlandıkça yakıt sisteminin yüzeyinde

aşınmalar meydana gelir. Bu aşınmaları azaltmak için genellikle bir tasarım uygulanır. Patlamalar için tasarım süreci bağımsızlık aksiyomu tasarımı ile tasarım matrisini baz alınarak yürütülür. Detaylı bir tasarım için bir optimizasyon problemi formüle etmişlerdir.

Enerji absorblayıcıları, çarpışma veya aşırı dinamik yükleme sırasında kinetik enerjiyi dağıtırlar. Bunlar en çok endüstriyel ve mühendislik uygulamalarında kullanılırlar. Bu absorblayıcıların tasarımı için alışılmış bir yaklaşım olan ve çok zaman harcayan deneme ve yanılma iterasyonları kullanılmıştır.

Zhu vd. (2008) yaptıkları çalışmada, tasarım metodolojisini geliştirmek için bir bilgi tabanlı tasarım destekleme sistemi kullanmışlardır. Bu sistem ile, tasarımcılar zekâ kuralı tabanlı tümevarım tekniğinin enerji absorblayıcıları bilgisini baz alarak optimal tasarımı elde edebilirler. Diğer taraftan tümevarım için hiçbir bilgi olmaması durumunda, bilgi tabanı, tasarım sonucunu oluşturabilmek için bir hesaplama aracı sağlar. Buna ek olarak ilgili destekleyici bilgiler, karar verme görevini desteklemek için metin ve görüntü formunda olan sistemin içine entegre edilir.

Cavique ve Coelho 2008 yılında yaptıkları çalışmalarında aksiyomlarla tasarımın yeni tasarımları geliştiren bir teori olduğunu ve gerçekleştirilen tasarımların kalitelerinin değerlendirilmesinde de kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Yazarlar aksiyomlarla tasarım tekniğini ısıtma ve havalandırma sistemlerinin tasarımında kullanmışlar ve bazı belirli uygulamaların tasarım kalitesi ile ilgili sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışmadaki amaç, güney Avrupa ikliminde bulunan ticari binaların enerji tüketimi ve uygunluğunun tespit edilmesidir.

Hızlı gelişen bilgi teknolojilerinde ürün kavramsallaştırmasının etkinliği ve verimliliği, yeni ürünün geliştirilmesindeki rolünün önemi arttırmıştır. Buna rağmen 2 önemli başlık atlanmıştır; bunlardan ilki ürün kavramsallaştırma sürecindeki birleştirilmiş yapının tam olarak ele alınamamış olmasıdır. İkincisi ise ürün kavramsallaştırma sürecini desteklemek için etkili bir veri madenciliği yaklaşımını elde etmenin zorunlu olmasıdır. Bu anlayışla, önerilen yaklaşım aksiyomlarla ürün kavramsallaştırma sistemini ürünün tasarımının geliştirilmesini amaçlamıştır. Önerilen aksiyomlarla ürün kavramsallaştırma sistemi birbirlerini etkileyen 3 modülü içerir. Bunlar bilgi toplama tekniğini kullanan toplama modülü, tasarım bilgi hiyerarşisini kullanan bilginin sunulduğu modül ve sınırlandırılmış Coulomb enerjisi sinir ağlarını kullanan bilgi sentez modülüdür. Buna bağlı olarak bu sistem web tabanlı veri madenciliği ürün kavramsallaştırma yaklaşımının tasarım kararı yoluyla yapılmasını önerir.

Yan vd. (2009) bu sistemin açıklanması için bir golf kulübü tasarımının vaka çalışmasını uygulamışlardır. Etkili bir tersine mühendislik çalışması, ürün ve parça oluşumlarının, özelliklerinin ve fonksiyonlarının geri dönüşümü ile oluşmaktadır. Gerekli bilgilerin tespit edilmesi ve ilgili tasarım bilgileri içerisine transfer edilmesi için sistematik bir yaklaşım Urbanic ve Maraghy'in (2009) yaptıkları çalışmada adapte edilmiştir. Tersine mühendislik için geri dönüşüm çerçevesini gösteren bir tasarım bu çalışma içerisinde sunulmuştur. Aksiyomlarla tasarım tekniğinin kullanılmasıyla yapılan bu çalışma, mevcut parça tasarımlarının yeterli olup olmadığını veya daha değer katan bir yapı oluşturulması için parçaların nasıl modifiye edilebileceğini göstermektedir.

Duigou vd. (2009), yaptıkları çalışmada makina mühendisliği üzerine çalışan şirketler için dijital mühendislik çalışmalarının stratejik konular için gittikçe artan bir öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, ürün yaşam çevrimi boyunca kullanılabilecek ve yönetilebilecek teknik verilere imkân sağlayan global bir yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşım ürünlerin endüstrileşme, gelişme ve maliyetleri için yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, gemi parça ailelerini üreten ve tasarlayan bir firmada uygulanarak tecrübe edilmiş ve bu vaka çalışması, firma için geliştirilen bir yazılımla beraber sunulmuştur.

Tang vd (2009), AD ve DSM (Design Structure Matrix – Tasarım Yapısı Matrisi) tasarım vakalarında tercih edilen 2 method olmasına rağmen uygulandıkları alanlar bakımından avantajlı ve dezavantajlı oldukları yerler mevcuttur. Bu çalışmada en kaliteli tasarımların yapılabilmesi için söz konusu 2 method karşılaştırılmıştır.

Kahraman ve Çebi (2009) çalışmalarında çok nitelikli karar verme yöntemi olarak hiyerarşik bulanık aksiyomlarla tasarım yöntemini ele almışlardır. Bulanık karar verme, karar vericilerin belirsiz ve sınırları tam olarak belirlenmemiş bir ortamda karar vermeyi ifade etmektedir. Bulanık aksiyomlarla tasarım yönteminde de belirsizlik bir dereceye kadar ifade edilerek karar alma faaliyetine dönüştürülmektedir.

Peck ve Kim (2010), hastane acil servislerindeki hasta akışını aksiyomatik tasarım ilkeleri ile arttırmayı amaçlamışlardır. Hastane acil servislerindeki kalabalığı yönetmek için hızlı takip yöntemine başvurulsa da bu yöntem gereksiz adımlarla doludur. Aksiyomatik tasarım ile hastaların önceliklendirilmesi ve hastaların indekslenerek akışların takip edilmesi ile bekleme sürelerinin %50 oranında azalacağı sonucuna varılmıştır.

Çebi ve Kahraman (2010), bulanık aksiyomatik tasarım ilkelerini kullanarak binek otomobil gösterge tasarımı konusunda çalışmıştır. Bir insan makine sisteminde kullanılan göstergelerin temel amacı etkileşimi arttırmaktır. Binek otomobillerdeki gösterge tasarımı üzerinde duran bu çalışmada bilgi ve bağımsızlık aksiyomları kullanılarak bulanık koşullar için tasarım çalışması ortaya konmuştur.

Garcia vd. (2010), hesabi hassasiyetin artırılması üzerine aksiyomatik bir görüş ortaya koymuşlardır. Karar problemlerinde sonucu etkileyecek hassas hesaplar yapılmaktadır. Sonuçlar rasyonel bir şekilde puanlanarak düşük ve yüksek puana göre karar vericilere bir yaklaşım sunulmaktadır.

Janthong vd. (2010), işletmeler devamlı değişen müşteri taleplerine uyum sağlamak, yenilikçi teknolojideki gelişimleri izlemek ve iş paradigmalarına sahip olmak için ürün ve üretim tasarımlarında giderek artan bir meydan okuma ile karşı karşıyadır. Bu makalede yenilikçi tasarım için yeni bileşenler tanımlama ve yeni çözümlerin tasarlanmasına uyum sağlamak için bu konudaki bilgilerin yeniden kullanımı sağlanmış ve yeni bileşenler kullanılmıştır.

Çebi vd. (2010), gemi inşa tasarım sürecinin birincil adımı gemiyi çalıştıracak olan makinedir. Uzaktan kumanda, görüntü kalitesi, alarmlar, iş istasyonları gibi sistem ara yüzleri yüksek kalitede teknik uzmanlık sağlayan sistematik kontrol öğelerine sahip olmalıdır. Bu makalede bulanık aksiyomatik tasarım ilkeleri aracılığıyla operatör sistemi arayüzleri kurulumu doğru yapılandırılması ve gemi tasarım proje onay mekanizması konulu bir makale çalışması yapılmıştır.

Çiçek ve Çelik (2010), modifiye bulanık aksiyomatik tasarıma dayalı malzeme seçimi için çok kriterli karar verme problemi çözümü konusunda çalışmışlardır. Çalışmada genel malzeme seçimi problemleri için bulanık aksiyomatik karar verme tasarım modelleri modifiye edilerek birçok model ortaya konmuştur.

Liv vd. (2011), lojistik yönetiminde bulanık aksiyomatik tasarım ve TOPSIS metodolojisini kullanarak lojistik merkezi konumu seçimi konulu makale çalışması yapmışlardır. Lojistik merkezi seçimi ile ilgili kriterler lojistiğin modern ilkelerinden ve kent planlamadan elde edilmiştir. Böylece 15 potansiyel konum 13 kritere göre değerlendirilmiş ve optimum seçim yapılmaya çalışılmıştır.

Shirwaiker ve Okudan (2011), tasarımdaki yalınlığa TIRZ ve AD'nin katkısını araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çoğunlukla üretime odaklanan yalın uygulamalar önemli endüstriyel

başarıların elde edilmesini sağlamıştır ancak bugün firmalar diğer fonksiyonel alanlar olan ürün tasarımı ve geliştirmesine yönelmişlerdir. Bu makalede yalınlık ve uygunlukta 2 tasarım yöntemi olan TRIZ ve AD metodolojilerine odaklanılmıştır.

Ogot (2011), çalışmasında TRIZ ve AD'nin güçlü ve zayıf yönlerini değerlendirerek aralarında ilişki incelenmiştir. Kavramsal örnek bağlamında aksiyomatik bağımsızlık aksiyomunun ortaya koyduğu uygun çözümlerin gerçekte hangi kısıtlarla çeliştiğine değinilmiştir.

Büyüközkan vd. (2012) iki fazlı bulanık karar verme yöntemi ile lojistik araçların seçimi üzerine yaptıkları uygulama örneğinde kişisel dijital asistanın seçimi çalışması yapmışlardır. Çalışmada en uygun mobil lojistik araçları tespit etmek ve karar vericilere yardımcı olmak için bulanık aksiyomatik tasarımdan ve iki fazlı grup karar verme yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Linke ve Dornfeld (2012) çalışmalarında dayanıklı bileme stratejileri geliştirmek için AD prensiplerinden faydalanmışlardır. Ürün yaşam döngüsünün iyileştirmesi için temel bileme teknolojisinin nasıl olması gerektiği makalenin konusudur. Makalede dayanıklılık ölçütleri aksiyomatik süreç modelleri olarak tanımlanmıştır. Daha sonra bu modeller bileme dayanıklılığını arttırmada uygun bir çözüm olduğunun gösterilmesi için niteliksel değerlendirilmeye tabi tutulmuştur.

Liu vd. (2013) bulanık karar ağaçlarından bulanık kuralların çıkarımında bulanık aksiyomatik setlerin kullanılması ile ilgili çalışmışlardır. Çalışmada bulanık aksiyomatik setlerin inşası için yeni bir uygunluk üyelik fonksiyonu geliştirilmiştir.

Chakravarty ve Pal (2013) Hindistan'daki ekonomik katılım konusunda aksiyomatik görüş içeren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada öncelikli olarak finansal katılımın aksiyomatik ölçümü yapılmıştır. Daha sonra bu ölçüler finansal katılımın yükseltilmesinde öncelikli politikaların belirlenmesinde kullanılmıştır.

Du vd. (2013), kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin yeniden kullanımı amacıyla tekrar tasarlanması için QFD ve AD teorilerinden faydalanmıştır. Yeniden tasarım ile sıfırdan tasarımın farklarına değinilen makalede QFD ve AD ile standardize edilmiş bir yeniden tasarım metodolojisi ortaya konmuştur.

Qiao ve Shing (2013), boru içi robotların sürtünme ile sınırlı olan hızlarını arttırabilmek için AD teorisini kullanmışlardır. AD ile ortaya konan yeni tasarımının farklarını ortaya koymak amacıyla robotların boru içinde alabilecekleri maksimum hızları hesaplanmıştır.

Zhang vd. (2014) nakliye uçaklarının kokpitlerinin ergonomik tasarımı için aksiyomatik bir çerçeve sunmuşlardır. İlk olarak söz konusu uçakların kokpitleri için ergonomik taşıma öğeleri analiz edilmiştir. Yeni nesil uçak kokpit özellikleri, uçuşa elverişlilik, endüstri standartlarına uyum gibi hususları veriler toplanmıştır. Bu veriler aksiyomatik tasarım teorisi temelinde değerlendirilerek uçak kokpit tasarımı için bir çerçeve çalışması ortaya konmuştur.

Landes (2014) belirsizlik altında karar verme yöntemlerinden biri olan min – maks yöntemi ile ilgili olarak yarar aralıkları boyunca tercihlerin aksiyomatik karakterizasyonu ile ilgili çalışma yapmıştır. Çalışmanın ilk çerçevesinde, birden çok olası sonuçlardan kaynaklanan yararlı karar aralıkları bir set tabanlı yaklaşım ile toplanır. İkinci çerçevede bu aralıklarının toplanması için çoklu setler kullanılarak min – maks yöntemine aksiyomatik karakterizasyon kazandırılarak çözüm yöntemleri ortaya konmuştur.

Dai vd (2015), tedarik zincirindeki hareketlerin izlenebilirliği arttırabilmek için AD yöntemini kullanmışlardır. Bu amaçla ilk olarak tasarım parametrelerinin ilişkisi zig zag ayrışma süreci ile ifade edilmiştir. İkinci olarak tasarım parametreleri ile sistemin ekonomik gereklilikleri ilişkisi gösterilmiştir. Son olarak da bağımsızlık aksiyomu ile tasarım sürecine geçilmiştir.

Holzner vd (2015), yüksek kaliteli ve düşük fiyatlı ürünler elde edebilmek ancak bunu sağlayabilecek üretim sistemleri ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada İtalya'daki KOBİ'lerden gelen anket sonuçlarına göre üretim sistemi ihtiyaçlarını belirlemek ve AD ile bu ihtiyaçların karşılanması amaçlanmıştır. Anket sonuçlarına göre tüketici nitelikleri sistem gereklilikleri olarak ifade edilmiş ve sonrasında KOBİ'ler için esnek, çevik ve değiştirilebilir üretim montaj hatlarının tasarlanması hedeflenmiştir.

Weber vd (2015), otomotiv sektöründeki firmalar işlenmeye konu olan parçaların çok fazla çeşide sahip olması ve miktarlarının fazla olması nedeniyle büyük bir zorluk ve karmaşa ile başetmek zorundadır. Yazarlar AD yöntemi sayesinde çok fazla çeşitte ve sayıda olan parçaları birbirleri ile ilişkileri ve teknik özellikleri bakımından gruplamış ve parça seçimindeki karmaşanın azaltılmasına katkı sunmuşlardır.

Girgenti vd (2015), stres korozyon laboratuvarı için test cihazlarının AD yöntemi kullanılarak iyileştirmenin hedeflendiği çalışmalarında AD yöntemi ilk olarak korozyon testlerinin sonuçlarını etkileyebilen geçirmez halka makinasının tanımlanmasında kullanılıyor. Daha sonra NACE TM0177 yönetmeliğine uygun sonuçlar elde etmek için cihaz özelleştirmelerinde kullanılmaktadır.

Marcias vd (2015), çalışmalarında ileri imalat teknolojisi seçiminde ergonomik uyumluluk değerlendirmesi için Bulanık Aksiyomlarla Tasarım metodolojisi uygulamasına yer veriliyor. Uygulama örneğinde plastik enjeksiyon CNC tezgahlarının seçiminde ileri imalat teknolojisinin etkisine değiniliyor. Ergonomi kavramının bulanık doğasına uygun olarak en uygun ekipmanın seçimi için bulanık bilgi aksiyomuna başvuruluyor.

Modrak ve Bednar (2015), üretimdeki karmaşıklığı azaltmak amacıyla AD yöntemini kullanmışlardır. Montaj hatlarında işlenecek olan parçalar ile üretim konfigürasyonları arasındaki ilişkiler grafiksel olarak ifade edilerek üretimdeki karmaşıklığı azaltmak ve doğru parçanın seçimi için AD yöntemi kullanılmıştır.

Rauch vd, (2015), yalın mantığın üretimdeki uygulamaların ardından bu felsefenin başka alanlara da başarılı bir şekilde uygulanabileceği fikrinden hareketle AD yöntemi ile yalın felsefenin nasıl bir arada uygulanabileceğine dair bilgi ve bağımsızlık aksiyomunun kullanıldığı bir çalışma yapmışlardır.

Fouladi ve Abedian (2015) hava yastığı tasarımı için AD ilkelerini kullanmışlardır. Sistem tasarımı, bağlı parçaların ilişkileri doğrultusunda tasarım mimarisinin şekillendirilmesi konuları bilgi aksiyomu ile ortaya konduktan sonra en iyi tasarım seçilmiş ve seçilmiş olan tasarım, bağımsızlık aksiyomu ile adım adım ortaya konmuştur. Çalışmanın sonunda ortaya konmuş olan tasarımın mevcut tasarımdan farkları belirtilmiştir.

Borgianni ve Matt (2016), yaptıkları çalışmada sanayideki en iyi uygulamalardan faydalanarak TRIZ ve AD arasında bir karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmada TRIZ'in daha çok kitle üretimi arttırmada kullanılan bir yöntem, AD'nin ise sistemleri ve endüstriyel organizasyonları geliştirmede kullanılan bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Endüstriyel tecrübelerden faydalanarak TRIZ ve AD'nin ortak kullanım alanlarına değinilmiş ve ortak kullanımın yaygınlaştırılarak bu yöntemlerin tek başına sağladığı iyileştirmeden daha fazla iyileştirme sağlayacağı sonucuna değinilmiştir.

Büyüközkan ve Göçer (2016), tedarikçi seçiminde kullanılan bulanık sezgisel çok kriterli karar verme metodolojisi yerine sezgisel bulanık analitik hiyerarşi ve bulanık bilgi aksiyomu metodolojisini önermişler ve literatüre bütünlük bir çerçeve modeli sunmuşlardır. Türkiye'de yaptıkları bir vaka çalışmasında işletmelerin tedarikçi seçim sorununu teorik olarak daha iyi anlayabilmelerini ve daha tatmin edici sonuçlar elde etmelerini hedeflemişlerdir.

Salonitis (2016), çalışmalarında aksiyomlarla tasarım metodolojisini kullanarak eklemeli üretim teknolojisi için mevcut tasarım yaklaşımını geliştirmek için bir çerçeve sunulmuştur. Önerilen çerçeve hem yeni ürünlerin geliştirilmesi hem de geleneksel üretim için tasarlanan mevcut ürünlerin yeniden tasarlanması için kullanılmaktadır. Bu yöntemin tasarım doğrulama ve karar verme için nasıl kullanılabileceğini vurgulayan çerçevenin doğrulanması için bir vaka çalışması sunulmuştur.

Zhu ve diğerleri (2016), yüksek performans ve fonksiyonel ürünlerin karmaşık tasarım süreçlerini aksiyomlarla tasarım yaklaşımıyla basitleştirmek için uygulamalı bir çalışma yürütmüşlerdir. Yüksek gerilim hatlarında kullanılan devre kesicilerin işlevini ve performansını doğru, hızlı ve istikrarlı bir şekilde arttırılması ihtiyacı göz önüne alınarak fonksiyonel ihtiyaçlar belirlenmiş ve bu ihtiyaçların nasıl giderileceği üzerine bağımsızlık aksiyomu çalışması ortaya konmuştur.

Kır ve Yazgan (2016), makalelerinde günlük ürünler üreten bir üretim makinesi için erken veya geç üretim yapma maliyetine katlanmadan, ürün tipi değişimlerine belirli süre içerisinde hazır hale gelerek ve değişken son kullanma tarihlerine uyumlu bir üretim planlama problemi ele alınmıştır. Ana amaç müşterinin talebini tam zamanında karşılayarak ceza şeklinde ifade edilen maliyetleri en aza indirmektir. Ceza maliyetleri bulanık bilgi aksiyomu ile belirlenmiştir. Doğru çizelgeler oluşturmak için tabu arama ve genetik algoritma gibi metasezgisel yöntemler kullanılmış ve başlangıç çözümleri tabu arama yöntemi ile bulunmuştur.

Chen ve diğerleri (2016), çalışmalarında tedarikçi seçim problemini bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımı ile ele almış ve talep sahibi – tedarikçi eşleşme dereceleri bu yaklaşıma göre belirlenmiştir. Daha sonra çiftlerin eşleşme düzeyini en üst düzeye çıkarmak ve en uygun eşleşme çiftlerini seçmek için çok amaçlı optimizasyon modeli çalışması ortaya konmuştur.

Candan ve diğerleri (2016), dişlerin estetik, dayanıklı, uzun ömürlü, düşük maliyetli ve sağlıklı görünmesi için dişler birkaç farklı dolgu malzemesi ile kaplayabilir ancak bunun seçimi diş hekimleri için karmaşık bir süreç olabilmektedir. Dental materyal seçimi alanında ilk araştırması olması ve aksiyomlarla tasarım ve DEMATEL yaklaşımlarının bir arada kullanılması bakımından yeni bir çalışma olarak literatüre katkı sunulmuştur.

Çakır (2016), yeni pazar taleplerine cevap verebilen ve üretim hedeflerine uygun makine seçimi yapabilen imalat şirketleri rekabette avantaj sağlarlar. Bu aşamada genellikle uygun makinenin seçilmesi için bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı benimsenir ancak bu çalışmada ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu ve basit çok başlıklı derecelendirme tekniği kullanılarak literatüre yeni bir çalışma sunulmuştur.

Zheng ve diğerkleri (2016), tüketici taleplerinin kitlesel bir şekilde kişiselleşmesi ile beraber eklemeli üretim teknolojisi de gelişme göstermiştir. Bu teknoloji sayesinde talebe özgü üretim yapmak daha kolay olmaktadır. Eklemeli üretim teknolojisi seçeneklerinin yaygınlaşması ile beraber hangi teknolojinin tercih edilmesi kullanıcılar açısından zor olduğu için bu makalede kaba set tabanlı bulanık aksiyomlarla tasarım yaklaşımı ile uygun teknolojinin seçilmesi çalışmasına yer verilmiştir.

Babur ve diğerkleri (2016), teknolojik gelişmelerin ve sanayileşmenin artması ile birlikte meslek hastalıklarında ve kazalarda artış olmuştur. Bunun önüne geçmek için iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamaları yaygınlaştırılmış ve ciddi başarılar elde edilmiştir. Bu çalışmada aksiyomlarla tasarım yaklaşımı kullanılarak yakın odaklı İSG sistemlerinin tasarımı için sistematik bir yaklaşım önerilmiştir.

Shao ve diğerkleri (2016), yüksek güvenliikli ürün tasarımı ürün geliştirmede aşılması gereken bir darboğaz olduğu için bu çalışmada bir kavramsal tasarım yaklaşımı olan aksiyomlarla tasarım ve güvenilirlik tasarımı birlikte kullanılmıştır.

Öztaysi ve diğerkleri (2017), performans ölçümü, belirli bir sürecin veya onun sonuçlarının değerlendirilmesi ile ilgilenen önemli bir yönetim sürecidir. Üst yönetimler tarafında sonuçları değerlendirmek ve yeni hedefler belirlemek amacıyla kullanılan performans ölçümleri mevcut zayıflıkların tanımlanması ve gelecekteki başarıların motive edilmesi bakımından önemlidir. Bu çalışmada performans göstergelerini (KPI) doğru bir şekilde hesaplayabilmek için hiyerarşik sezgisel bulanık aksiyomlarla tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın uygulaması çağrı merkezinde yapılmıştır.

Cheng ve diğerkleri (2017), yeni bir turbo jeneratörü tasarımında güvenli çalışmanın sağlanması için ana bileşenlerinin titreşim önleyici performansının optimize edilmesi önemlidir. Bu çalışmada heterojen çok amaçlı karar verme problemine ilave olarak alternatif planların bilgi içeriğinin hesaplanması heterojen aksiyomlarla tasarım yöntemi geliştirilerek performans optimizasyonu hedeflenmiştir.

Arcidiacono ve diğerkleri (2017), yalın yönetim ve altı sigma sadece imalat sanayinde değil hizmet sektöründe ve kamu kuruluşlarında da uygulanmaktadır. Bu çalışmada bir hastanedeki hasta akışlarının, ilgili faaliyetlerin ve kaynakların optimizasyonu ile ilgili yalın prensiplerin etkinliği aksiyomlarla tasarım ilkeleri üzerinden bir çerçeve geliştirilerek tartışılmaktadır.

Villeco ve Pellegrino (2017), endüstriyel imalatta, elemanların bağımsızlığını ve genel mekanik sistemi oluşturan bağlantıların karmaşıklığını analiz etmek için aksiyomatik tasarımın

kullanılarak sanal prototipleme kullanarak yeni makine ve mekanizmalar geliştirmek için çok gövdeli sistem simülasyonları ortaya konulmuştur.

Lapinskiene ve Martinaitis (2017), çalışmalarında kalite fonksiyonu gerimi (QFD) ve aksiyomlarla tasarım yaklaşımları ile geleneksel yapı tasarımlarının temel dezavantajlarını yok etmeyi hedeflemişlerdir. Yapı tasarımlarını enerji modellemeleri ile bütünleştirip enerji verimliliği odaklı tasarımların ortaya çıkması için çalışılmıştır.

Landi ve diğerleri (2017), aksiyomatik tasarım, tasarımcının müşteri ihtiyaçlarını bir matris açıklamasıyla İşlevsel Gereksinimler ve Tasarım Parametrelerine uyarlamasını sağlar. Bu nedenle ürün tasarımcısı, tasarımın erken aşamalarında fonksiyonel gereksinimleri tasarım parametrelerine dönüştürebilir ve uygun bir şekilde dönüştürebilir. Çalışmada bu yaklaşım kullanarak şirketin “hareketli montaj zinciri” üzerinde montaj alanının azaltılması, yeni kaldırma sistemini kullanarak bomun montaj süresinin azaltılması, çalışanların ergonomik koşullarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Feyzioğlu ve Kar (2017), çalışmada robust tasarım yaklaşımına dayanan çok amaçlı, aksiyomatik ve doğrusal olmayan çok amaçlı optimizasyon modelinin zlmesi hedeflenmiştir.

Nakao ve Lino (2017), Japonya 1990 yılında batı teknolojilerini satın almayı tamamladı ancak bugün zaman içinde ortaya çıkan endüstrilerin bymze hızı düştü ve sıfır büyüme ile karşı karşıya. Endüstrilerin FR2’ye (Geleneksel rnleri koruyun) ek olarak artık FR1’e (Yeni rnler geliştir) de ihtiyaçları var. DP1 (Mühendislikte uzmanlık bilgisi) ve DP2 (Temel akademik ve yönetim becerileri) şeklinde tasarım parametreleri ile Japon endüstrilerinin büyüme hızlarını yükseltmek için bu çalışmada bir tasarım hiyerarşisi ortaya konulmuştur.

Wang ve diğerleri (2017), Otomobil, uydu veya uçak gibi büyük ölçekli mühendislik sistemlerinin tasarımı, çeşitli kararlar alarak gereksinimlerin karşılanması sürecidir. Tasarım aksiyomları, sistem tasarımcılarına doğru kararlar vermek için teorik bir altyapı sağlar. Ancak aksiyomatik sistem tasarımı hem insan hem de makine için uygulanması hala zor olmakta ve az sayıda araştırma, bu sürecin kavramlarını basitleştirmeye odaklanmaktadır. Aksiyomatik sistem tasarım modellerini hem kullanıcı tarafından anlaşılabilir hem de makine tarafından okunabilir olacak şekilde tanımlamak için, bu çalışma, aksiyomatik tasarım sürecini Semantic Web teknolojisi ile birleştirir ve aksiyomatik tasarım ontolojisi olarak adlandırılan ve müşterilerin gereksinimlerini düzenleyen bir aksiyomatik tasarım semantik temsil modeli önerir.

Rauch ve diğerkleri (2018), geçmişte kk ve orta boy işletmeler daha kk ve daha yönetilebilir sayesinde istikrarsız piyasa dinamiklerinden daha kolay etkilenmişlerdir. Ancak diğerk taraftan piyasaların değişken durumu kk ve orta boy işletmelerin yenilikçi yaklaşımları takip etmesini zorlaştırdı. Bu alışma kk ve orta boy işletmelere odaklanarak esnek ve evik retim ile montaj sistemlerinin tasarımı için yönergeler tanımlamak amacıyla aksiyomlarla tasarım yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Böylece bu tarz işletmeler için bir üretim sistemlerinin yenilikçi tasarımları için bir tasarım kılavuzu hazırlanmıştır.

Mizani ve diğerkleri (2018), müşteriler işletmelerdeki en önemli katma değer kaynağıdır ve rekabetçi pazarlarda mevcut müşterileri elde tutmak ve yeni müşteriler çekmek çok önemlidir. Bu çalışmada müşterilerin sadakati üzerindeki etkili faktörleri belirlemek, yöneticilerin sadık müşterileri korumak ve oluşturmakla ilgili kararlar almasına yardımcı olmak amacıyla aksiyomlarla tasarım tekniğinden faydalanılmıştır.

Maghsoodi ve diğerkleri (2018), rejeneratif teknolojide atık yağlama yağı seçimi teknolojik ve finansal karmaşık bir problem olup bu çalışmada risk faktörlerini dikkate alarak bulanık aksiyomlarla tasarım yaklaşımı kullanılmıştır.

Rizutti ve De Nepoli (2018), Taguchi yöntemi süreçleri yönetmek ve iyileştirmek için yaygın kullanılan bir yaklaşımdır. Yüksek performanslı bir cihaz tasarımı için tasarımın bir bütün olarak iyi anlaşılması ve uygun kayıp fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu alışmada Taguchi yöntemi ve aksiyomlarla tasarım yaklaşımı birlikte kullanılarak birbiriyle etkileşimli bir çözüm sistemi ortaya konulmuştur.

ÜRETİMDE YALIN LOJİSTİK SİSTEMİ İÇİN ÖNERİLEN TASARIM METODOLOJİSİ UYGULAMASI

Üretimde yalın lojistik yapısının kurulabilmesi ve uygun taşıma yönteminin seçilebilmesi için öncelikle aksiyomlarla tasarımın bilgi aksiyomu yönteminden faydalanılacaktır. Bu amaçla hazırlık aşamasında elde edilen müşteri beklentileri doğrultusunda bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yöntemleri kullanılacaktır. Ardından bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak uygun yalın lojistik tekniğine karar verilecektir.

Bir sonraki aşamada ise aksiyomlarla tasarımın bağımsızlık aksiyomu yöntemi kullanılarak bilgi aksiyomu ile karar verilen uygun taşıma yönteminin fabrikada fiilen uygulanabilmesi için tasarım aşamasına geçilecektir. Bağımsızlık aksiyomu ile ortaya konan tasarım aşaması, üretim ortamındaki taşımaların yalınlaştırılması için genel bir yol haritası olacaktır.

7. 1. Uygulama Çalışmasının Yapıldığı Firma Hakkında

Tez çalışması kapsamında bir yan sanayi firmasında uygulama çalışması yapılmıştır. Gebze / Kocaeli’nde faaliyet gösteren Bant Boru A.Ş. isimli bu firma, otomotiv ve beyaz eşya sektörüne aşağıdaki boru elemanlarının tedarikini sağlamaktadır.

- Fren Borusu
- Klima Borusu
- Direksiyon Borusu
- Yakıt Borusu
- Vakum Hortumu

Bu firma 20'si ulusal ve uluslararası alanda büyük firmalar olmak üzere birçok beyaz eşya ve otomotiv firmasına parça tedariki yapmakta ve 4 kıtada sahip olduğu müşteri ağı ile çok uluslu ticaret hacmine sahiptir. Müşterileri arasında Ford, Renault, Mercedes ve Arçelik gibi yerel ve uluslararası büyük firmalar bulunmaktadır. 500'den fazla çalışan ve 200'den fazla makine, günde 3 vardiya halinde 24 saat aralıksız çalışarak günlük 150.000 metre boruyu işlemektedir. Firmada yüksek bir üretim hacmi söz konusudur.

Boruların yapıldığı ana hammadde çelik sac rulo olup yurt dışından temin edilmektedir. Aylık 100 tır ile 300 ton çelik sac rulonun mal kabulü yapılmaktadır. Sahip oldukları ulusal ve uluslararası kalite belgeleri ile yüksek kalitede ürün üretimi yapmaktadırlar. Firmanın aynı tesis içerisinde Kaplama Fabrikası ve Şekillendirme Fabrikası şeklinde iki ayrı fabrikası vardır. Mal kabule gelen çelik rulolar Kaplama Fabrikasında ince boru şeklinde kesilmekte ve müşteri talebine göre ilgili kimyasal maddeler ile kaplanarak işlenmek üzere Şekillendirme Fabrikasına yönlendirilmektedir.

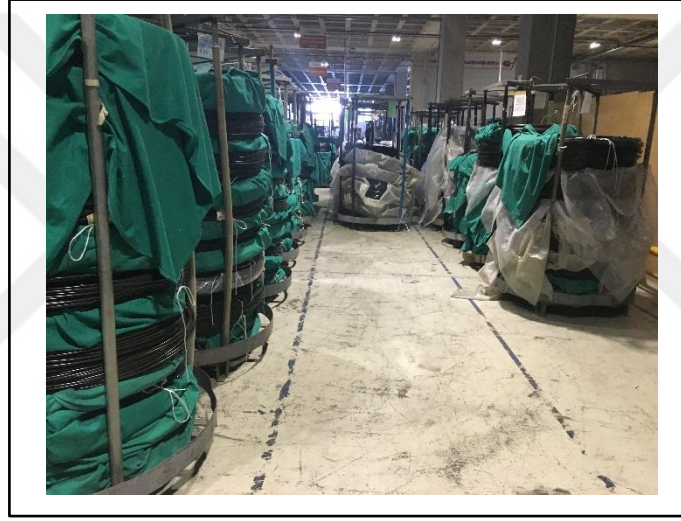
Kaplama Fabrikası mal kabul alanına gelen çelik rulolar (Şekil 7.1) forkliftler ile fabrika içine taşınırlar, burada üretilecek boru elemanının cinsine uygun olarak saclar yayılarak dilimleme işlemi (Şekil 7.2) gerçekleştirilir. Dilimlenmiş saclar boru şekline getirilerek bakır ile kaplanır ve daha sonra müşteri talebi ve nihai ürüne göre sıradaki kimyasal kaplama süreçlerinden geçirilir. Kaplama Fabrikasındaki süreçler ile ilgili firmanın gizlilik kuralları gereği detaylı bilgi ve fotoğraflar mevcut olmayıp tez çalışmamız firmanın Şekillendirme Firmasında yapılmıştır. Kaplama Fabrikasından çıkan yarı mamuller Şekil 7.3'deki gibi Şekillendirme Fabrikası'na forkliftler ile taşınır. İşlem adımları Şekil 7.4'deki gibidir.



Şekil 7. 1 Kaplama fabrikasına gelen çelik sac rulolar

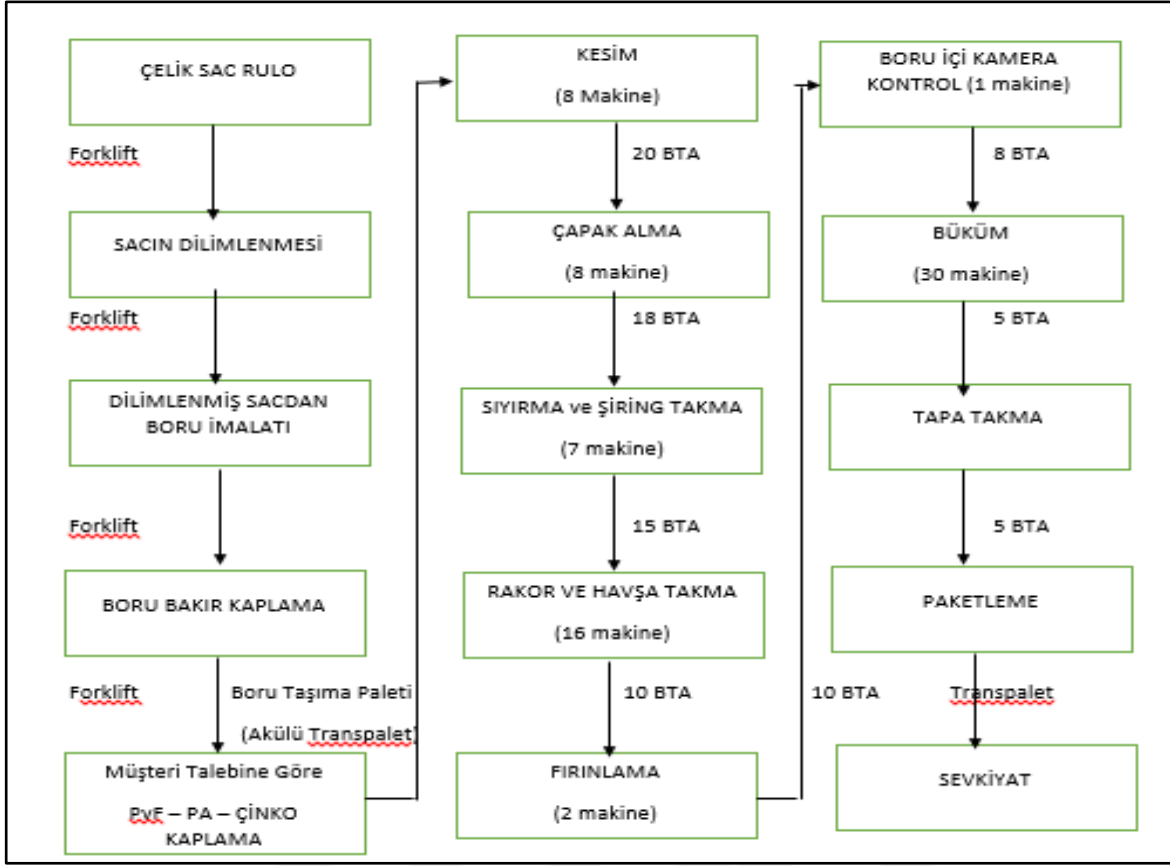


Şekil 7.2 Gelen sac ruloların dilimleme işlemi



Şekil 7. 3 Kaplama fabrikasından çıkan yarı mamullerin şekillendirme fabrikasına taşınması

Tezimizin uygulama çalışmasının yapıldığı Şekillendirme Fabrikasında ise 10 ayrı istasyonda üretim işlemleri gerçekleştirilmekte ve 5 ana kalemde ve 800’den fazla alt çeşitte boru üretimi yapılmaktadır. Şekil 7.4’de mal kabulden son ürünün sevkiyatına kadar tüm prosese yer verilmiştir. Şekilde ilgili istasyonlar arası kullanılan taşıma araçlarına, sayılarına ve istasyonlardaki makine sayılarına yer verilmiştir.



Şekil 7.4 Boru üretim prosesi

Şekillendirme fabrikasında fonksiyonel bir yerleşim söz konusudur. Ana ürün çeşidinin az ve üretim miktarının fazla olduğu bir üretim ortamı söz konusudur. Firmada üretilen ana ürün fren borusu olup klima borusu, direksiyon borusu, yakıt borusu ve vakum hortumu için montajlama gibi daha az işlemleri üretim süreçleri gerçekleştirilerek daha çok başka firmalara fason üretim desteği sunulmaktadır.

Şekillendirme fabrikası içinde kesim prosesi (Şekil 7. 5) ile başlayan işlemler 10 ayrı istasyonda 72 üretim makinesi faaliyet göstermektedir. Bir istasyondaki bir makineden sıradaki istasyondaki bir makineye taşıma boru taşıma aracı (BTA) olarak da adlandırılan el arabaları ile sağlanmaktadır. Üretim ortamında 8 çeşitte toplam 86 adet el arabası kullanılmaktadır. Örnek bir el arabası Şekil 7.6'daki gibidir.

Üretim ortamındaki tüm malzeme hareketlerinin el arabaları ile emek yoğun bir şekilde yapılıyor olması yalın felsefeye açıkça aykırıdır ve firma bu durumun getirdiği aşağıdaki olumsuz durumlardan dolayı üretim lojistiğini yalınlaştırmayı ve etkinleştirmeyi hedeflemektedir. Tespit edilen olumsuz durumlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- El arabalarının farklı makineye besleme yapması

- Üretim ortamında çok fazla el arabası olmasına bağlı olarak operasyonun sağlıklı yönetilememesi
- Üretim ortamındaki tüm taşıma faaliyetlerinin manuel yapılması sebebiyle malzemelerin hasarlanma riski
- Karmaşadan kaynaklı moral, motivasyon düşüklüğü ve personelden etkin yararlanamama
- Emek yoğun olan üretim lojistiğinin koordinasyonunun zor olması ve bu sebeple kapasite dâhilinde olan siparişlerin bile karşılanamaması veya geç karşılanması nedeniyle ortaya çıkan müşteri memnuniyetsizliği
- Taşımalardaki gecikmelere bağlı olarak malzeme beslemelerinin geç yapılması ve makinelerin boş kalmasından dolayı kapasiteden etkin yararlanamama
- Üretimin yoğun olduğu dönemlerde makinelerin boş kalmaması için el arabalarının dolmasını beklemeden taşıma yapması ve araçların tam kapasite kullanılamamasına bağlı olarak aynı miktar malzeme miktarı için daha fazla sayıda taşıma seferinin yapılması ve üretimdeki karmaşanın artması



Şekil 7. 5 Şekillendirme fabrikası boru kesim prosesi

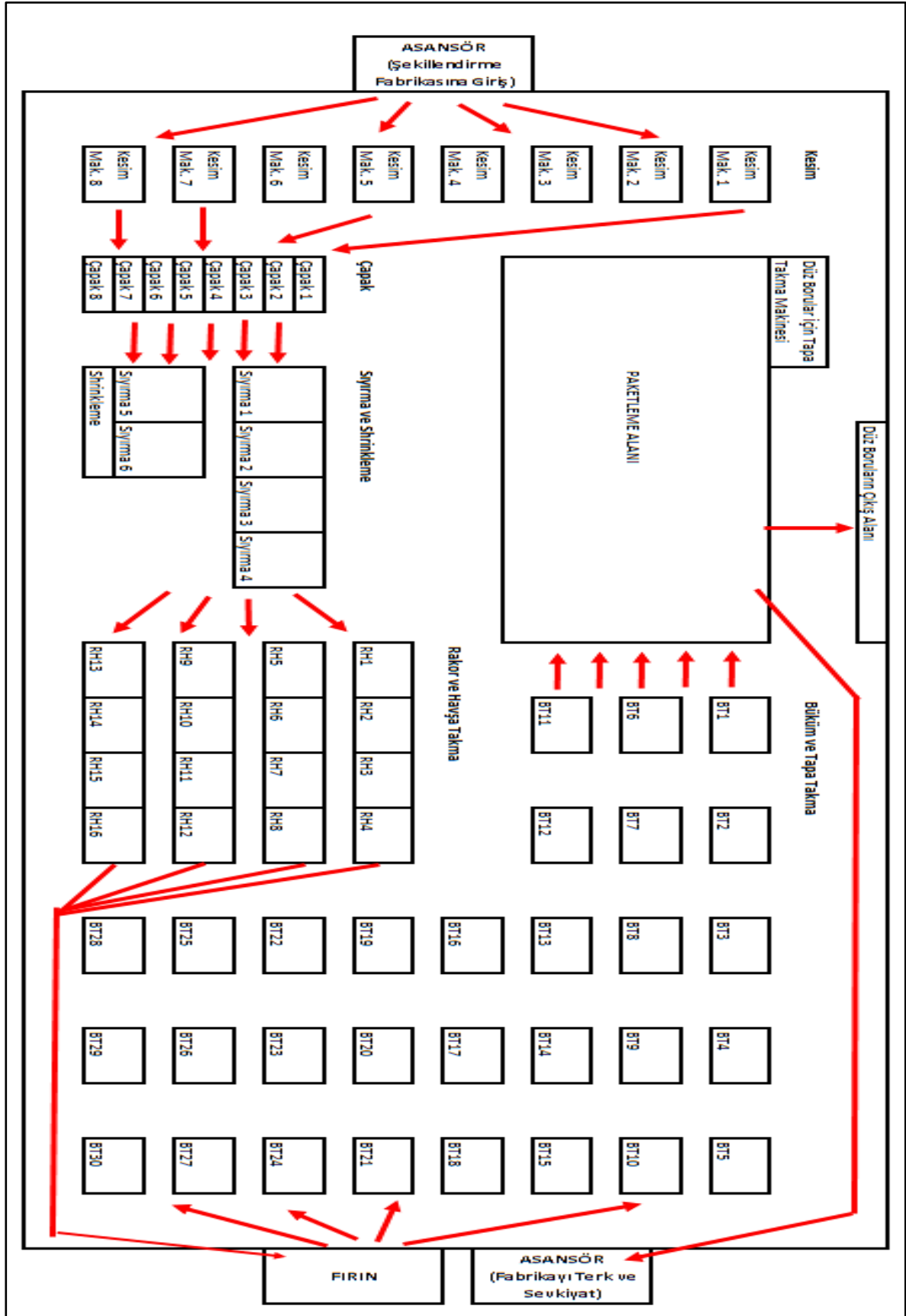
Manuel taşıma araçları ile sürdürülen mevcut operasyon yapısında söz konusu şartların olması nedeniyle firma yalın felsefeye ilgili duymaya başlamıştır. Üretim ortamındaki söz konusu karmaşanın yalın felsefenin lojistik boyutu olan yalın lojistik ile çözülebileceğine inanan firma yetkilileri tez çalışmasına destek olmuşlar ve gerekli verileri sağlayarak tezin uygulama kısmında yardımcı olmuşlardır.

Şekillendirme fabrikasının üretim şablonuna ise Şekil 7.7’de yer verilmiştir. Malzeme hareketleri de ok işaretleri ile gösterilmiştir. Bir istasyondaki makineden bir sonraki istasyondaki ilgili makineye olan taşımaların manuel olması ve istasyonlar arası mesafenin de uzun olması nedeniyle mevcut taşıma yönteminin zorluğu daha iyi anlaşılacaktır.

Malzeme hareketleri takip edilirse “Rakor ve Havşa” istasyonlarından çıkan malzemelerin “Fırın” kısmına gelmesi ve “Paketleme” alanından çıkan malzemelerin “Asansör” alanına taşınması sırasında gereksiz taşımalar mevcuttur. Makine yerleri değişmediğinden yerleşime müdahale etmeden fabrikaya etkin bir yalın lojistik yapısının kurulması gerekliliği ortadadır. Söz konusu gereksiz taşımalar dışındaki malzeme hareketleri, Şekil 7.4’deki üretim prosesindeki sıraya uygun devam etmektedir.



Şekil 7.6 Üretim ortamında kullanılan el arabaları (boru taşıma aracı)



Şekil 7.7 Şekillendirme fabrikası yerleşim düzeni ve malzeme hareketleri şablonu

Firmanın üretimini veya montajını gerçekleştirdiği 5 ana ürün için sipariş adedi 1000 adet şeklindedir. Müşterilerden alınan siparişler bu miktarın katları şeklinde gerçekleşmektedir. 5 ana ürün için toplam üretim sürelerine Çizelge 7. 1’de yer verilmiştir. En uzun üretim süresi fren borusuna aittir. Diğer ürünlere sadece montajlama gibi belirli işlemler uygulanarak fason hizmet verilmesinden dolayı üretim süreleri daha kısadır. 1000 adetlik fren borusunun toplam üretim süresi 72 saattir. Firmada 3 vardiya halinde 24 saat kesintisiz üretim olduğu için bu miktar 3 takvim gününde müşteriye hazır edilebilir duruma gelmektedir.

Çizelge 7. 1 Boru çeşitlerine göre toplam üretim süreleri

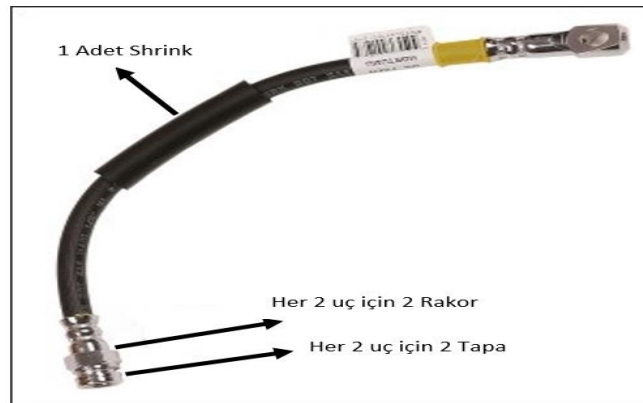
Boru Çeşidi	1000 Adet için Toplam Üretim Süresi
Fren Borusu	72 Saat
Klima Borusu	48 Saat
Direksiyon Borusu	48 Saat
Yakıt Borusu	24 Saat
Vakum Hortumu	24 Saat

Çizelge 7. 2’de istasyonlarda geçen üretim sürelerine yer verilmiştir. Üretilecek ürün çeşidi fark etmeksizin malzemelerin istasyonlarda geçirdiği üretim yüzdeleri hemen hemen aynıdır. Fren borusu örneğinden hareketle 72 saatlik toplam üretim süresinin istasyonlara göre dağılımı tablodaki gibidir.

Çizelge 7. 2: İstasyonlarda geçen üretim yüzdeleri ve fren borusu üretim süreleri

İstasyon Adı	Üretim Zamanının Toplam Üretime Oranı	1000 Adet Fren Borusu için İstasyonda Geçen Ortalama İşlem Süreleri (Dakika)
Kesim	%5	216
Çapak Alma	%5	216
Sıyırma ve Şiring Takma	%10	432
Rakor ve Havşa Takma	%10	432
Fırınlama	%10	432
Boru İçi Kamera Kontrol	%5	216
Büküm	%20	964
Tapa Takma	%5	216
Paketleme	%15	648
Sevkiyat	%15	648

Üretimi tamamlanan bir fren borusu görseline Şekil 7.8’de yer verilmiştir. 1 adet fren borusunda onu çevresel etkenlerden koruyacak 1 adet shrink ve ana sanayi firmasında montajının sağlanabileceği 2 adet tapa ve 2 adet rakor yer almaktadır. Fren borusu her ne kadar çok çeşitli parçaların birleşiminden oluşmasa da girdiği üretim prosesleri, borunun kaplandığı malzeme, hangi otomobil ve hangi model için üretildiği gibi kıstaslar nedeniyle sadece fren borusu için 300’ün üzerinde alt çeşitlilik mevcuttur.



Şekil 7.8 Fren borusu görseli

Yan sanayi firmaları ile ana sanayi firması arasındaki lojistik operasyonlar, 3PL firmaları yönetilmektedir. Milk-run olarak da bilinen döngüsel sefer taşıma sisteminin tedarik lojistiğinde uygulanması ayrı bir çalışma konusudur ve literatürde ilgili çalışmalar mevcuttur. Ancak yalın lojistik tekniklerinden döngüsel sefer taşıma sistemleri tedarik lojistiğine başarı ile uygulanarak birçok tedarikçide üretimi tamamlanan malzemeler üretime yetecek miktarda ve sık şekilde ana sanayi firmasına ulaştırılır. Böylece gereksiz depolama yapmadan üretimi kesintisiz sürdürmeye yetecek kadar malzemenin taşınması esas kılınmış olur.

Tezimin uygulama çalışmasının yapıldığı firma, ana sanayi firmaların kendileri ile paylaştığı üretim takvimlerine göre üretim yapar ve 3PL firmalarının planladığı lojistik takvime uygun olarak gelen araçları yüklemeye alarak büyük resme katkı sunar. Ana sanayi firmalarından özellikle otomotiv firmaları çok fazla sayıda tedarikçi ile çalışırlar.

Otomotiv firmalarında üretimin aksamaması işte bu tedarikçilerin tamamının üretimlerini aksatmamasına bağlıdır. Üretim aksaklığından kasıt yalnızca malzemelerin takvime uygun yüklenmemesi değildir. Malzemelerin istendiği şekilde üretilmemesi, istendiği adette üretilmemesi, hasarlı üretilmesi, zamanında üretilmemesi gibi durumların tamamı üretim aksaklığından sayılır ve ana sanayi firmaları, tedarikçilerinde bu aksaklıkların yaşanmasını hiç istemez.

Otomotiv firmalarındaki her üretim prosesi tek tek incelendiğinde neredeyse her bir proses için çalışılan bir sürü tedarikçi olduğu görülür. Tüm tedarikçilerdeki malzemelerin üretimi aksatmayacak şekilde ana sanayi firmasına ulaştırılması tedarik lojistiğinin görev alanıdır. Ancak ana sanayi fabrikası içindeki lojistik operasyonlar gibi tedarikçiler olarak adlandırılan yan sanayi firmalarındaki lojistik operasyonların etkinliği de önemlidir.

Tek süreç odaklı olarak ana sanayi firması ile aynı senkronize hareket etmek durumunda olan yan sanayi firmaları bunun gereği olarak kalite belgeleri ile standartlarını yükseltmeli, kendi üretim proseslerinin etkinliğini ve verimliliğini sağlamalı ve iyileştirme faaliyetlerini her zaman sürdürmelidir.

20'si küresel ve ulusal alanda dünya lideri olmak üzere birçok ana sanayi firmasına hizmet veren uygulama çalışması yaptığımız firma da ana sanayi müşterilerinden gelen taleplere kayıtsız kalamamış ve yalın felsefeye ilgi duymaya başlamıştır.

Yalın felsefe; üretim ortamındaki israfları arındırarak yürütülen üretim proseslerinin kalitesini arttıracak, daha fazla sayıda ürünü daha kaliteli bir şekilde daha hızlı üretilmesi olanağı sunacak üstelik bu iyileştirmelerin tamamını daha az maliyetle sağlayacaktır.

Yalın lojistik yalın felsefenin lojistik boyutudur. Bu bölümde, uygulama çalışması yaptığımız firmadaki aksaklıklara değindik. Bundan sonraki bölümlerde bu aksaklıkların nasıl iyileştirileceği ile ilgili olarak firmada uygulanabilecek yalın lojistik teknikleri çeşitlendirilecektir.

Belirlenen yalın lojistik tekniklerinin hangi parametrelere göre değerlendirileceği bilgisinden hareketle yan sanayi firmasının yetkilileri ile düzenlenen toplantılar neticesinde çeşitli parametreler ortaya konarak ve fabrikada uygulanabilecek en uygun yalın lojistik tekniği bu parametrelerden faydalanılarak Aksiyomlarla Tasarımın Bilgi Aksiyomu metodolojisi kullanılarak belirlenmiştir. Uygun taşıma yönteminin belirlenmesinin ardından bu tekniğin fabrika bünyesine başarı ile uygulanabilmesi için Aksiyomlarla Tasarımın Bağımsızlık Aksiyomu metodolojisi kullanılacaktır.

7.2. En Uygun Taşıma Yönteminin Seçilebilmesi İçin Bilgi Aksiyomu Uygulaması

Bir yan sanayi firmasının üretim ortamında en yalın ve en uygun taşıma yöntemini seçmek için firma yetkilileri ile toplantılar yapılmış lojistik uzmanları ve taşımalarından sorumlu mavi yaka çalışanları ile beraber üretim ortamında uygulanabilecek yalın iç lojistik teknikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- El Arabası ile Taşıma (Mevcut Durum)
- Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma
- Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)
- Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

Döngüsel sefer yapan kısa trenler birkaç el arabasının yaptığı taşıma işini tek personel ile yapabilirler. Bu taşıma araçları bir önceki istasyondaki makineleri dolaşarak biten ürünleri toplayarak bir sonraki istasyondaki malzeme bekleyen makinelerine hızlıca besleme yapabilir. Böylece personel sayısından tasarruf edilebileceği gibi üretim ortamındaki karmaşıklık da minimize edileceğinden yalın felsefeye uygun olan bir taşıma yöntemidir.

Otomatik boru taşıma makinesi fabrika boyunca uzanan bir malzeme taşıma otomasyonudur. Üretim lojistiğine destek olacak bu makine istasyonlar arasındaki uzun mesafelerde

malzemeleri taşıırken aynı zamanda bir takım istisnai üretim adımlarını da gerçekleştirerek üretimdeki makine sayısının azalmasını da sağlayacaktır. Bu makine sayesinde üretim ortamındaki manuel taşımalar azalacağından yalın felsefeye uygun bir taşıma yöntemidir.

Uzmanlar bu taşıma yöntemlerinden firmaya en uygununu belirlemeye çalışacaklardır. Bu amaçla uzmanlar ile yedi kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerden yararlanılarak dört taşıma yönteminden firma beklentilerini en çok sağlayan yöntem belirlenmiş olacaktır.

Aksiyomlarla tasarım ve lojistik ile ilgili literatürde kısıtlı sayıda çalışma olduğundan genel olarak hangi kriterlerin neye göre tercih edildiği ile ilgili kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Lojistik ile ilgili kriterler belirlenirken lojistiğin doğasına uygun olarak teslim kalitesi, teslim süresi, taşıma hacmi, taşıma maliyeti ve koordinasyon kolaylığı gibi kriterler öne çıkmaktadır. Gelen veya giden lojistik ile ilgili bir çalışma yapıldığında bu kriterlere ilave olarak stok maliyeti, rekabet ve esneklik gibi farklı kriterlerin de eklenmesi mümkündür [73]. Lojistiğin farklı boyutlarında çalışılırken farklı kriterlerle çalışmak mümkündür. Çalışmamızda aşağıdaki kriterler ile çalışılması uygun görülmüştür.

- Teslim Kalitesi
- Lojistik Maliyet
- Teslim Süresi
- Uygunluk
- Taşıma Hacmi
- Güvenilirlik
- Koordinasyon Kolaylığı

7. 2. 1. Teslim Kalitesi

Bu kriter malzemelerin hasarsız taşınma oranını ve malzemede çeşitli istenmeyen durumları ifade etmektedir. Firma fren borusu gibi hassas parçalar ürettiği için seçilecek lojistik tekniğin teslim kalitesini olabildiğince sağlıyor olması gerekmektedir. Teslim kalitesi, firmanın müşterilerinin de bir beklentisi olup müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi için bu kalitenin sağlanıyor olması çok önemlidir.

7. 2. 2. Lojistik Maliyet

Bu kriter seçilen yalın lojistik tekniğinin firmaya mal olacağı toplam maliyet miktarını ifade etmektedir. İşlemlerin manüelden otomasyona geçişi ile birlikte yalın felsefeye uygunluk artar, hasar olasılığı azalır, işlemler hızlanır ve bunun gibi birçok fayda elde edilir ancak diğer taraftan maliyetler de artar. Dolayısı ile bu kriter, uygun lojistik tekniğin belirlenmesinde göz önüne alınması gereken tekniklerden biri olarak belirlenmiştir.

7. 2. 3. Teslim Süresi

Teslim süresinden kasıt bir makineden sıradaki istasyonun ilgili makinesine yapılan taşımanın süresidir. Taşıma süresi toplam üretim süresi ile doğrudan ilişkili olduğu için önemli bir kriterdir ve en uygun yalın iç lojistik tekniğinin belirlenmesinde göz önüne alınmıştır.

7. 2. 4. Uygunluk

Taşıma araçlarının tüm istasyonlar arasında dolaşabilme yeteneğini ifade eder. Seçilen taşıma yöntemindeki taşıma araçları da istasyonlar arasında dolaşması gerekeceğinden bu kriter de değerlendirmeye eklenmiştir.

7. 2. 5. Taşıma Hacmi

Seçilen taşıma yönteminin olabildiğince fazla miktarda ürünü tek taşıma hareketi ile naklediyor olması gerekmektedir. Üretim ortamında sürekli bir akış olduğundan en az sayıda taşıma yapılabilmesi için en az sefer gerçekleştirerek an fazla miktarda ürünü transfer edebilmek için taşıma hacmi isimli kriter oluşturularak konu değerlendirmeye alınmıştır.

7. 2. 6. Güvenilirlik

Seçilen taşıma yöntemindeki hata durumunu ifade eder. Değerlendirme sonucunda uygun taşıma yöntemi belirlenmiş olacaktır. Her ne kadar kriterlerden ve parametrelerden yararlanılarak bir değerlendirme yapılıyor olsa da sonuç itibari ile olması gereken yerine başka bir taşıma yöntemi seçilmiş olabilir. Bu sebeple ilgili dört taşıma yönteminin akademik literatürdeki ve uygulama alanındaki güvenilirlik değerleri de belirlenerek kriterleştirilmiştir. Böylece yerleşik teamüllere aykırı bir tercih yapılması şansının azaltılması hedeflenmiştir.

7. 2. 7. Koordinasyon Kolaylığı

Taşıma araçlarının kolayca koordine edilebilme yeteneğini belirtmektedir. Taşıma araçlarının koordinasyonunun kolaylığı, o araçları kullanacak sürücülerin belirlenmesi, üretim ortamındaki karmaşıklığın azaltılabilmesi ve hangi taşıma yönteminin daha uygun olduğu konular ile doğrudan ilişkilidir. Bu kriterin uygunluk kriterinden farkı, uygunluk kriteri taşıma araçlarının tüm istasyonlar arasında kullanılabilirlik yeteneği ile ilişkili iken bu kriter, üretim ortamındaki taşıma karmaşıklığının azaltılması ve malzeme taşımaların kolayca yapılabilmesi ile ilişkilidir.

7 kriter yardımıyla 4 farklı taşıma yönteminin değerlendirilmesi ve en uygun yöntemin seçilmesi için bilgi aksiyomu metodolojisinden faydalanılacaktır. Uygulama çalışmasını yaptığımız firmada lojistik uzmanları ve üretimdeki taşımalarından sorumlu mavi yakalar ile gerçekleştirilen toplantılar neticesinde iç lojistiğin sağlaması gereken parametre aralıkları ve 4 alternatif taşıma yönteminin sunduğu parametre aralıkları Tablo 7.3’de ve Tablo 7.4’deki gibi belirlenmiştir. Tasarım aralıklarında sayısal, sözel ve bulanık ifadeler kullanılarak ve hesaplamalarda farklı formüllerden yararlanılarak çalışmaya zenginlik kazandırılmıştır.

Yalın felsefeye en uygun tekniğin seçilmesi için kriterlerin ve parametre aralıklarının doğru belirlenmiş olması gerekmektedir. Yanlış bir taşıma yönteminin seçilmiş olması ve fabrikanın üretim ortamının bu yöneme göre tasarlanmış olması aşağıdaki gibi birçok soruna neden olabilir.

- Malzeme taşıma trafiğinin artması
- Malzeme taşımada darboğazların oluşması veya verimsiz taşımalarından dolayı makinelerin ve taşıma araçlarının boş kalması
- Hasarlı ürün oranının artması
- Malzeme taşımaların karışması sonucu yanlış makineye yanlış besleme yapılması
- Üretim sürecinin aksaması, kapasite dâhilinde olan siparişlerin bile gecikmesi ve müşteri memnuniyetsizliği
- Personel motivasyon düşüklüğü ve personel kapasitesinden etkin yararlanamama
- Yanlış taşıma yöntemine göre üretim ortamının tasarlanmasından dolayı yapılan maliyet

Bu gibi olumsuz sonuçlar ile karşılaşmamak için kriterlerin ve parametrelerinin doğru tespiti önem arz etmektedir. Çizelge 7. 3 ve Çizelge 7.4’deki veriler, Bulanık Bilgi Aksiyomu metodolojisinin uygulanması için gereklidir. Bulanık bilgi aksiyomu metodolojisinin

uygulanarak en uygun taşıma yönteminin tespiti için yapılan hesaplamalara bir sonraki konu başlığı altında yer verilmiştir.

Çizelge 7. 3 Firma iç lojistik yapısı için gerekli olan tasarım parametre aralıkları

Kriterler (Fonksiyonel İhtiyaç)	Tasarım Aralığı
Teslim Kalitesi	% 95 ve üzeri
Lojistik Maliyet	(2,9,9)
Teslim Süresi	2 – 6 Dakika
Uygunluk	Çok Uygun
Taşıma Hacmi	(6,10,10)
Güvenilirlik	Güvenilir
Koordinasyon Kolaylığı	(6,10,10)

Çizelge 7. 4 Alternatif taşıma yöntemlerinin tasarım parametre aralıkları

Kriterler	El Arabası ile Taşıma	Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma	Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)	Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)
Teslim Kalitesi	% 90 ve üzeri	% 93 ve üzeri	% 95 ve üzeri	% 95 ve üzeri
Lojistik Maliyet	Düşük	Çok Düşük	Çok Yüksek	Yüksek
Teslim Süresi	5-10 Dakika	4-10 Dakika	3 – 8 Dakika	2 – 5 Dakika
Uygunluk	Çok Uygun	Uygun	Çok Uygun	Uygun
Taşıma Hacmi	Orta	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Güvenilirlik	Kısmen Güvenilir	Güvenilir	Kısmen Güvenilir	Güvenilir
Koordinasyon Kolaylığı	Orta	İyi	İyi	Çok İyi

7. 3. Bulanık Bilgi Aksiyomu Metodolojisi ile Uygun Taşıma Yönteminin Belirlenmesi

Bu bölümde taşıma alternatiflerinin parametre aralıkları ile ideal firma iç lojistik yapısının parametre aralıklarını her bir kriter üzerinden Eşitlik 6.20 ve Eşitlik 6.35 üzerinden karşılaştırılacaktır.

7. 3. 1. Teslim Kalitesi Kriterine Göre Bilgi Değerlerinin Hesaplanması

Firma iç lojistik yapısında teslim kalitesinin % 95 ve üzeri olmasını istenmektedir. Tüm proses sonucunda ortaya çıkan nihai ürünlerin en fazla % 5'inde hasar veya istenmeyen durumların olmasına müsaade edilir. Bu karar firmanın müşterileri ile yapılmış olan sözleşmeler dikkate alınarak verilmiştir.

El Arabası ile Taşıma

Bu taşıma yönteminin teslim kalitesinin parametre aralığı % 90 ve üzeridir. İdeal iç lojistik yapısının teslim kalitesinin parametre aralığı ise % 95 ve üzeridir. Parametreleri karşılaştırdığımızda teslim kalitesinin ideal durumda % 95 ve olması gerekirken el arabası ile taşıma yönteminde teslim kalitesi % 90'a kadar düşmekte ve % 90 ve üstü bir değer aralığında değişmektedir. Eşitlik 6.35'e göre bilgi değeri şu şekilde hesaplanır. Diğer alternatiflerin hesaplamaları EK C'de gösterilmiştir.

$$I_1 = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Alanı}}{\text{Ortak Alan}} \right) = I_{ETTK} = \log_2 \left(\frac{100-90}{100-95} \right) = \log_2(2) = 1 \quad (7.1)$$

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma

Bu taşıma yönteminin teslim kalitesinin parametre aralığı % 93 ve üzeridir. İdeal iç lojistik yapısında ise teslim kalitesinin % 95 ve üzeri olması istenmiştir. Bu taşıma alternatifinin teslim kalitesi bilgi değeri aşağıdaki gibidir.

$$I_{DSTK} = 0,48$$

Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)

Bu alternatifin teslim kalitesi parametre aralığı % 95 ve üzeridir. İdeal iç lojistik yapısında da teslim kalitesinin % 95 ve üzeri olması istenmiştir. Bu alternatifin teslim kalitesi bilgi değeri:

$$I_{KT1TK} = 0$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

İdeal iç lojistik yapısının teslim kalitesinin % 95 ve üzeri olmasının istendiği gibi bu taşıma alternatifinin de teslim kalitesinin parametre aralığı % 95 ve üzeridir. Bu taşıma alternatifinin teslim kalitesi bilgi değeri:

$$I_{KT2TK} = 0$$

7. 3. 2. Lojistik Maliyet Kriterine Göre Bilgi Değerlerinin Hesaplanması

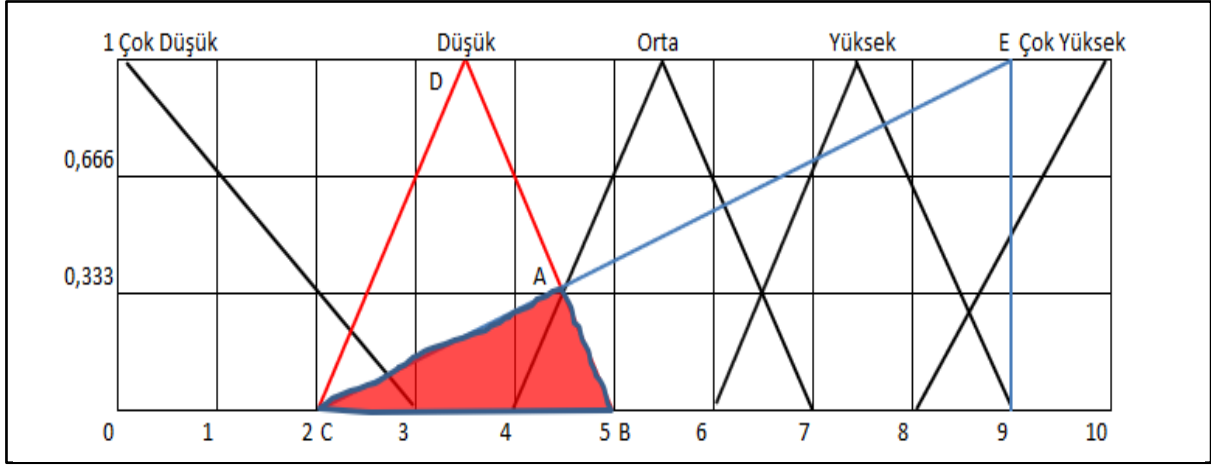
Seçilecek taşıma alternatifinin üretim ortamına uygulanması için birçok değişiklik gerekli olacaktır. Tüm bu değişikliklerin bir maliyeti olacağı gibi malzeme taşıma faaliyetlerinin düzenli devam etmesi için sürekli maliyetler de getirecektir.

Firma, lojistik maliyet bakımından beklentisini (2,9,9) şeklinde belirlemiştir. Bu ifade, lojistik maliyetin orta ve yüksek olmasına stratejik olarak daha çok olanak tanıyan ancak çok düşük ve çok yüksek olan lojistik maliyetleri de az da olsa içeren bulanık bir ifadedir. El arabası ile taşıma yöntemi daha fazla işgören ihtiyacından dolayı döngüsel sefer yapan kısa tren ile taşımaya göre genel olarak daha maliyetlidir. Ancak otomatik malzeme taşıma makinesinin hem kurulumu hem de işletmesi daha yüksek bir maliyete sebep olmaktadır. Firma da yalnız lojistik felsefesine geçmenin mali durumunu göz önüne alarak orta ve yüksek maliyeti göz önüne alan bir beklenti geliştirmiştir.

Lojistik Maliyet kriterine göre taşıma alternatiflerinin fonksiyonel ihtiyaçlarının bilgi değeri hesaplamaları Eşitlik 6.20’de belirtilen formülasyona göre yapılır. El Arabası ile Taşıma tekniğinin hesabı detaylı gösterilmiş olup diğer teknikler için detaylı hesaplamalara EK C üzerinden ulaşılabilir.

El Arabası ile Taşıma

El Arabası ile Taşıma alternatifi için “Lojistik Maliyet” kriterinin parametre aralığı “düşük”tür. İdeal iç lojistik yapısında ise bu kriterin fonksiyonel ihtiyacı (2,9,9) şeklinde belirlenmiştir. Bu taşıma yöntemi için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılırsa (Şekil 7.9),



Şekil 7.9 El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Üçgensel bulanık sayılar sistem alanı}}{\text{Ortak alan}} \right) = I_{ETLM} = \log_2 \left(\frac{\frac{(5-2) \times 1}{2}}{\frac{(5-2) \times 0,353}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,53} \right) = 1,5 \quad (7.2)$$

Ortak alan, kırmızı bölgenin alanı olup (ABC) üçgeninin alanıdır. Bu üçgeninin alanının hesabı aşağıdaki gibi yapılır.

A noktası $|CE|$ ile $|BD|$ doğrularının kesişim noktasıdır ve koordinatları için bu iki doğrunun denklemleri bulunarak birlikte çözümleri yapılır. C noktasının koordinatları (2,0) ve E noktasının koordinatları ise (9,1) şeklindedir. B noktasının koordinatları (5,0) ve D noktasının koordinatları (3,5,1) şeklindedir.

$|CE|$ doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Formülünde C ve E noktalarının koordinatları kullanılarak doğru denklemi,

$$(x - 2) / (9 - 2) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$x - 7y - 2 = 0$ olarak hesaplanır.

$|BD|$ doğrusu için,

Aynı şekilde B ve D noktalarının koordinatları kullanılarak doğru denklemi,

$$(x - 5) / (3,5 - 5) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$2x + 3y - 10 = 0$ olarak hesaplanır.

Bu 2 doğru y için birlikte kullanıldığında,

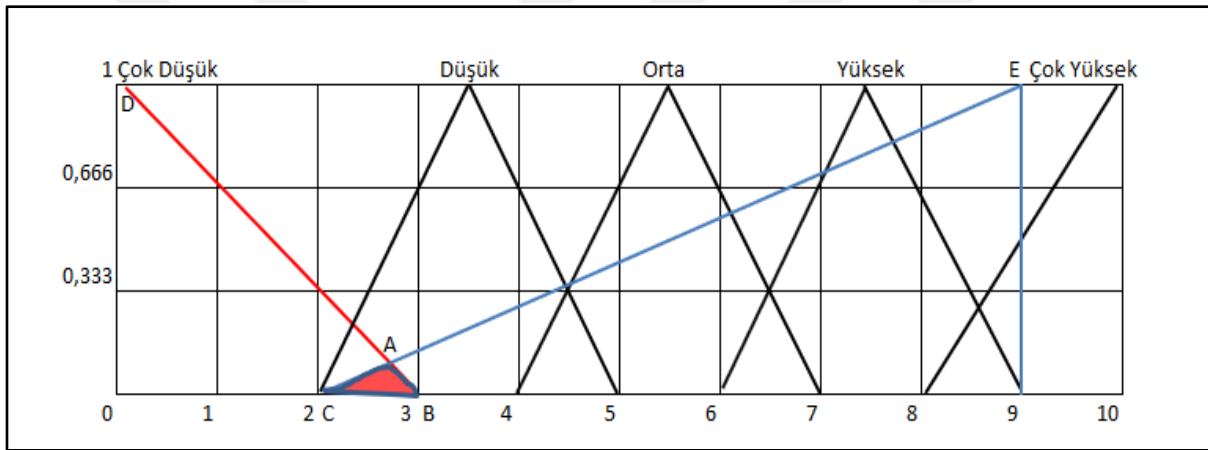
$$x - 7y - 2 = 0$$

$$2x + 3y - 10 = 0$$

$y = 0,353$ Bu değer kullanılarak bilgi içeriği hesaplaması yukarıda yapılmıştır.

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma

Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma yapmanın “Lojistik Maliyeti” bir önceki taşıma yönteminden farklı olarak “çok düşük” olarak belirlenmiştir. İdeal iç lojistik yapısında ise bu kriterin fonksiyonel ihtiyacı (2,9,9) şeklinde belirlenmiştir. Bu taşıma yöntemi için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılırsa (Şekil 7.10),



Şekil 7.10 Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

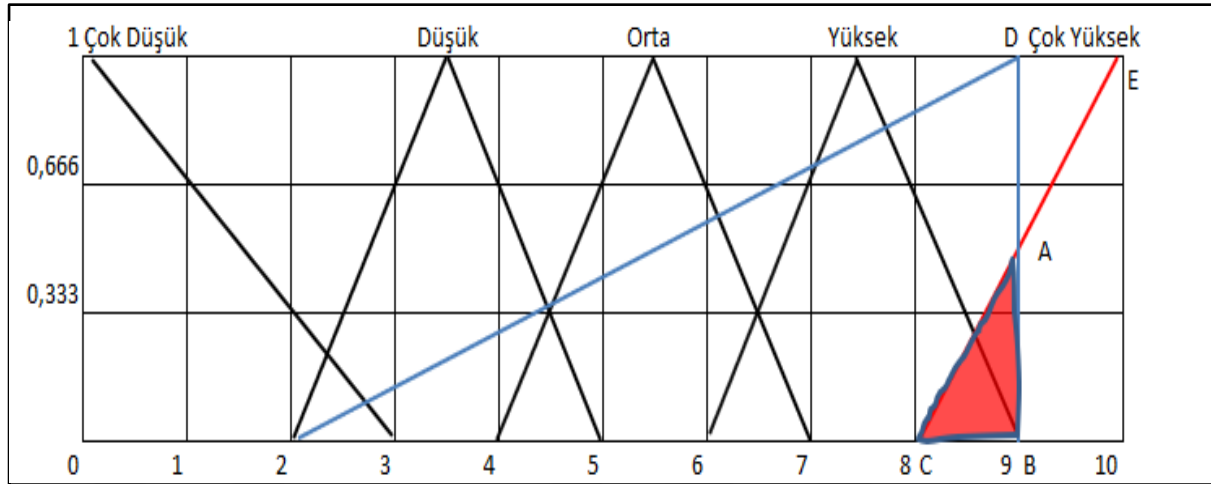
Detaylı hesaplama adımları EK C’de gösterilmiş olup lojistik maliyet kriterine göre bu taşıma yönteminin bilgi değeri aşağıdaki gibidir.

$$I_{DSLM} = 4,910$$

Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)

Bu taşıma yöntemi için lojistik maliyet kriterinin parametre aralığı “çok yüksek” olarak belirlenmiştir. Sebebi de fabrikaya boydan boya yerleştirilecek malzeme taşıma otomasyonunun ilk kurulum maliyetinin yüksek olması ve işletmesinin belirli maliyetle gerçekleştirilecek olmasıdır. Ayrıca el arabası ile taşımanın da çok fazla işgören gerektirmesinden dolayı maliyetli bir yöntem olduğu daha önce açıklanmıştı. İdeal iç lojistik yapısında lojistik maliyetin (2,9,9) şeklinde belirlenmiştir. (2,9,9) değeri lojistik maliyetinin

daha orta ve yüksek olmasına izin veren bir aralıktır. Bu taşıma yöntemi için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılırsa (Şekil 7.11),



Şekil 7.11 Kombine taşıma 1 (otomatik boru taşıma makinesi + el arabası ile taşıma)

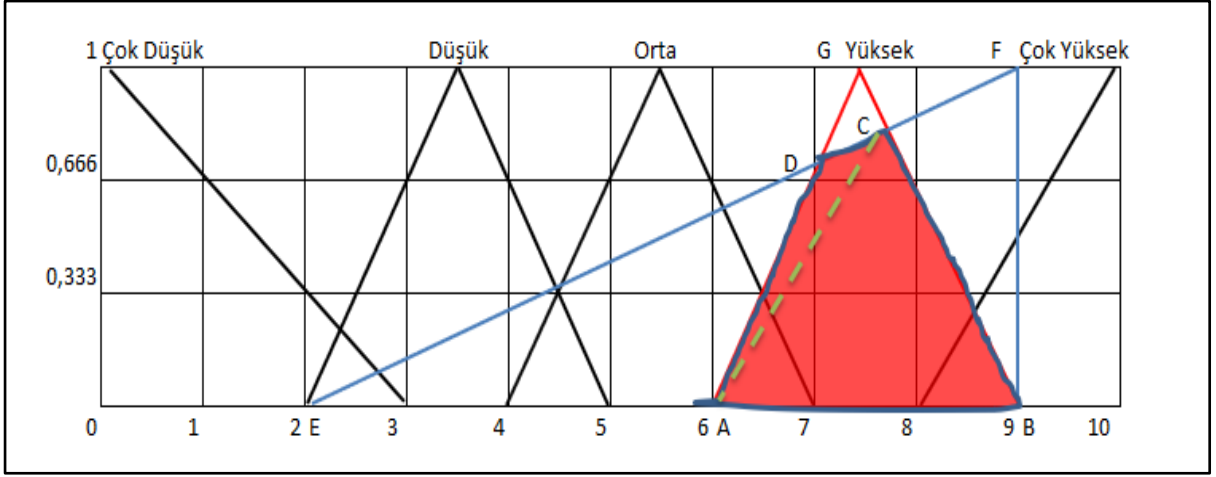
için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

Detaylı hesaplama adımları EK C’de gösterilmiş olup lojistik maliyet kriterine göre bu taşıma yönteminin bilgi değeri aşağıdaki gibidir.

$$I_{KTILM} = 2$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

Bu taşıma yönteminin lojistik maliyet kriteri de “yüksek” olarak belirlenmiştir. Bu taşıma yönteminde de malzeme taşıma otomasyonunun kurulum ve işletme maliyetleri yüksektir. Ancak döngüsel sefer ile taşıma yapma maliyeti çok düşük olduğundan genel olarak bu taşıma yöntemi için “yüksek” değerlendirmesi uygun görülmüştür. İdeal iç lojistik yapısında lojistik maliyetin (2,9,9) şeklinde belirlenmiştir. Bu taşıma yöntemi için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılırsa (Şekil 7.12),



Şekil 7.12 Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

Detaylı hesaplama adımları EK C’de gösterilmiş olup lojistik maliyet kriterine göre bu taşıma yönteminin bilgi değeri aşağıdaki gibidir.

$$I_{KT2LM} = 0,071$$

7. 3. 3. Teslim Süresi Kriterine Göre Bilgi Değerlerinin Hesaplanması

İdeal iç lojistik yapısında istasyonlar arası malzeme taşıyan araçların 2 – 6 dakika arasında malzemeleri bir sonraki istasyona nakledebilmesi gerekliliği hesaplanmıştır. Tablo 7.2’de 1000 adet fren borusu için istasyonlarda geçen üretim sürelerine yer verilmişti. Bu sürelerle ham üretim işlemleri ve malzeme taşıma işlemleri de dâhildir.

Bir taşıma aracının 1 seferde ortalama 100 boru taşıdığı göz önüne alınırsa 1000 fren borusu için genel olarak 10 taşıma aracı kullanılacaktır. 1 taşıma aracının 2-6 dakika aralığında teslim süresi varsa 10 taşıma aracının herhangi 2 istasyon arasında toplam 20-60 dakika aralığında teslim süresi olacaktır. 10 ayrı istasyon arasında bu taşımalar yapılacağına göre taşımaların toplam süresinin 200 – 600 dakika arasında değişeceği sonucuna ulaşılır. Fren borusu için toplam üretim süresi 72 saat yani 4320 dakika olduğuna göre ortalama taşıma süresi 400 dakikanın ((200+600)/2) toplam üretim süresindeki payı %10’un altında olması istenmiştir.

Her ne kadar ideal durumda ortalama 100 boru taşıyan bir taşıma aracının iki istasyon arasında 2-6 dakika arasında kat etmesi gerektiği hesaplansa da alternatif taşıma yöntemlerinin sunduğu teslim süreleri birbirinden farklıdır. Her taşıma yöntemi için teslim süresi kriterlerinin bilgi değerleri bulunarak bölümün sonunda bir karşılaştırma yapılacaktır.

El Arabası ile Taşıma

İdeal iç lojistik yapısında teslim süresinin 2 – 6 dakika arasında olması gerektiği hesaplanmıştır. Bu taşıma yönteminin sunduğu teslim süresi ise 5 – 10 dakika arasındır. Teslim süresi kriterine göre alternatif yöntemlerin bilgi değerleri Eşitlik 6.35 yardımıyla bulunacaktır. Bu teknik için hesaplama aşağıdaki gibi olup diğer teknikler için yapılan hesaplamalara EK C üzerinden ulaşılabilir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa,

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Alanı}}{\text{Ortak Alan}} \right) = I_{\text{ETTS}} = \log_2 \left(\frac{6-2}{6-5} \right) = \log_2 4 = 2 \quad (7.3)$$

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma

Bu tekniğin sunduğu teslim süresi aralığı 4 – 10 dakika şeklindedir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırıldığında bilgi değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_{\text{DSTS}} = 1$$

Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)

Bu tekniğin sunduğu teslim süresi 3 – 8 dakika arasındadır. Malzemelerin otomatik bir şekilde taşınması sadece el arabası ile taşıma yapılan tekniğe göre malzemelerin daha hızlı nakledilmesini sağlamıştır. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırıldığında bilgi değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_{\text{KT1TS}} = 0,41$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

Kombine Taşıma 2 tekniğinin teslim süresi 2 – 5 dakika arasındır. İdeal teslim süresinin 2 – 6 dakika olması istendiği göz önüne alınırsa bu taşıma yönteminin ideal durumu karşıladığı görülebilir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırıldığında bilgi değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_{\text{KT2TS}} = 0$$

7. 3. 4. Uygunluk Kriterine Göre Bilgi Değerlerinin Hesaplanması

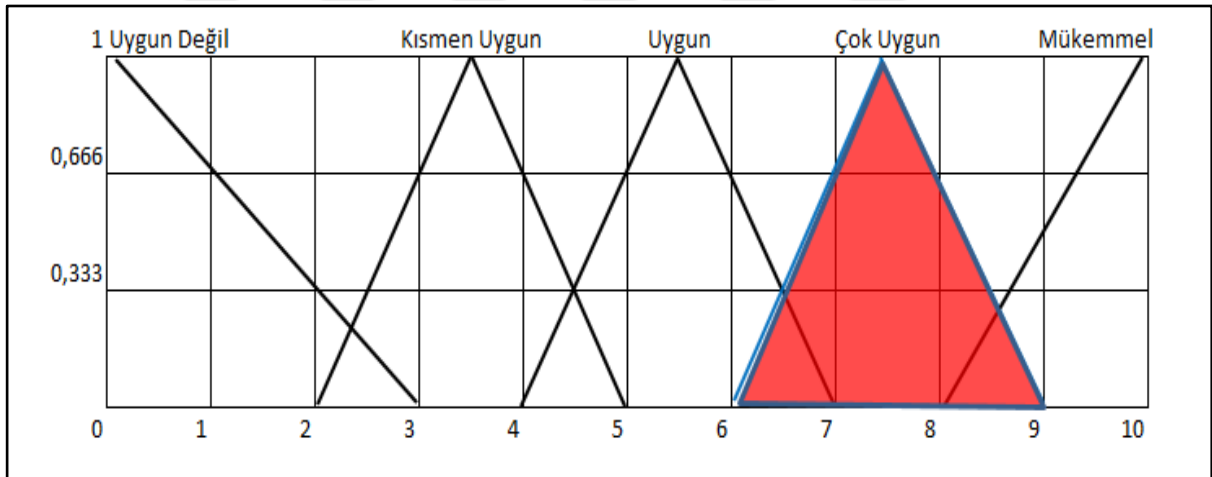
Şekil 7.3’de firmanın şekillendirme fabrikasındaki makinelerin yerleşim düzenine ve genel malzeme hareketlerine yer verilmişti. Her bir makineden işlem görmüş parçalar çıkmaktadır.

Bu parçaların her bir makineden toplanabilmesi ve sıradaki istasyona kolayca aktarılabilmesi için seçilen taşıma yönteminde taşıma araçlarının makineler arasında kolayca dolaşmaya uygun olması gerekmektedir.

Bu kriter için yapılan çalışma neticesinde ideal iç lojistik yapısında tercih edilecek olan taşıma yönteminin uygunluğunun “çok uygun” olması istenmiştir. Alternatif taşıma yöntemlerinin bu uygunluk düzeyini sağlama derecesine göre bilgi değeri hesaplamalarına bu konu başlığı altında yer verilmiştir.

El Arabası ile Taşıma

İdeal taşıma yönteminin uygunluk kriteri parametre aralığı “Çok Uygun” şeklindedir. El Arabası ile Taşıma tekniğinin uygunluk kriteri parametre aralığı da “Çok Uygun” şeklindedir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.13),



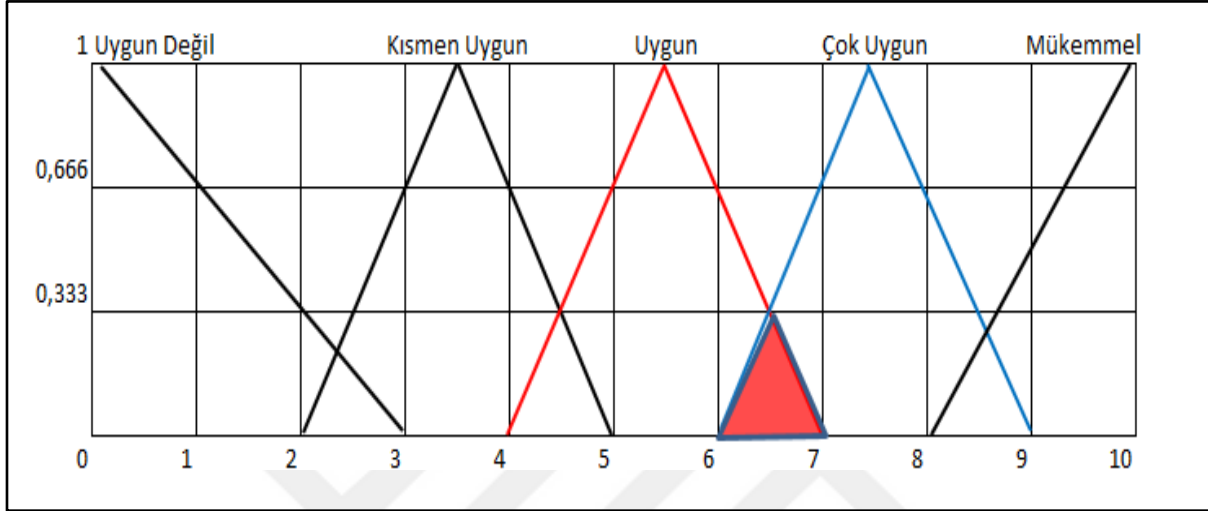
Şekil 7.13 El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

Bilgi değerinin hesaplanması için Eşitlik 6.20 kullanılacaktır. Bu taşıma yöntemi için detaylı hesaplama aşağıda gösterilmiş olup diğer taşıma yöntemleri için gerekli hesaplamalara EK C üzerinden ulaşılabilir.

$$I_{ETU} = \log_2 \left(\frac{\frac{(9-6)x1}{2}}{\frac{(9-6)x1}{2}} \right) = \log_2(1) = 0$$

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma

Döngüsel sefer yapan kısa trenlerin Şekil 7.3’deki üretim ortamı üzerindeki hareketlerinin el arabası kadar rahat olamayacağı sonucuna istinaden bu taşıma yönteminin uygunluk kriteri parametre aralığı “uygun” olarak belirlenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.14),

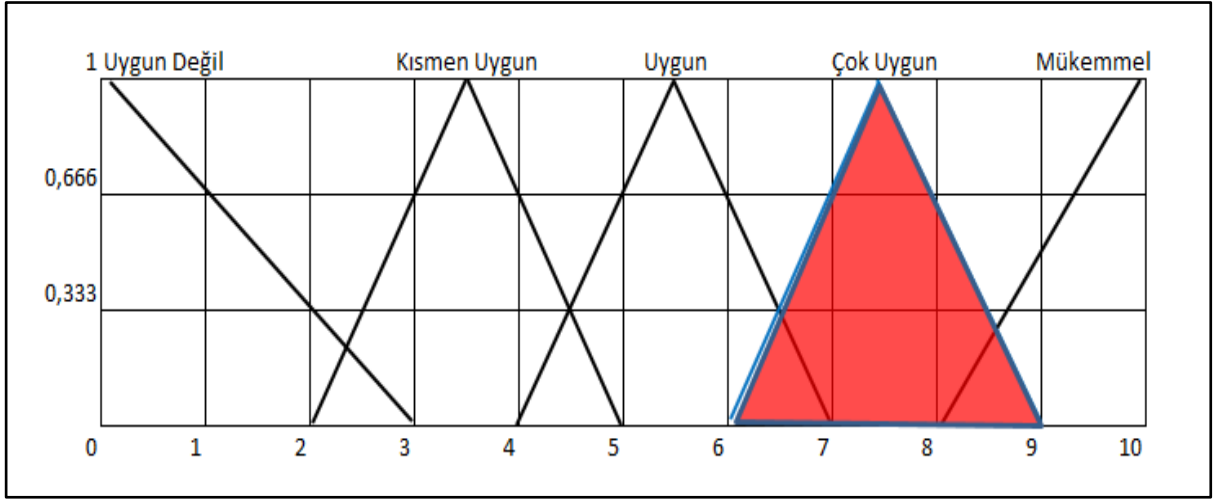


Şekil 7.14 Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

$$I_{DSU} = 3,17$$

Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)

Bu taşıma yönteminde makinelerdeki işlem gören malzemelerin toplanması ve makinelere parça beslemelerinin yapılmasının el arabaları ile yapılması öngörüldüğünden uygunluk kriterine göre bu taşıma yönteminin parametre aralığı “çok uygun” olarak belirlenmiştir. İdeal taşıma yönteminin de uygunluk kriter aralığı “çok uygun”dur. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.15),



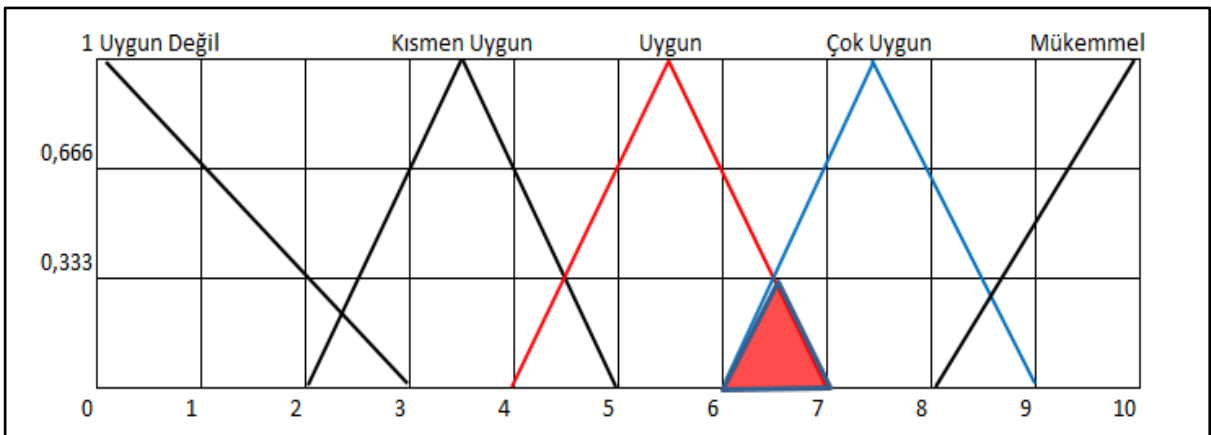
Şekil 7.15 Kombine taşıma 1 (otomatik boru taşıma makinesi + el arabası ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

Bilgi değeri hesabı, El Arabası ile Taşıma tekniği ile aynı olup aşağıdaki gibidir.

$$I_{KT1U} = 0$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

Bu taşıma yönteminde döngüsel sefer yapan kısa trenlerin de kullanımı öngörüldüğünden ve kısa trenlerin üretim ortamında el arabası kadar rahat hareket edemeyeceği göz önüne alınarak bu taşıma yönteminin parametre aralığı “uygun” olarak belirlenmiştir. İdeal iç lojistik yapısında ise uygunluk kriteri parametre aralığı “çok uygun” şeklindedir. İdeal durumda taşıma araçlarının üretim ortamında rahat hareket edebiliyor olması istenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.16),



Şekil 7.16 Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

Bilgi değeri hesabı, Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma tekniği ile aynı olup aşağıdaki gibidir.

$$I_{KT2U} = 3,17$$

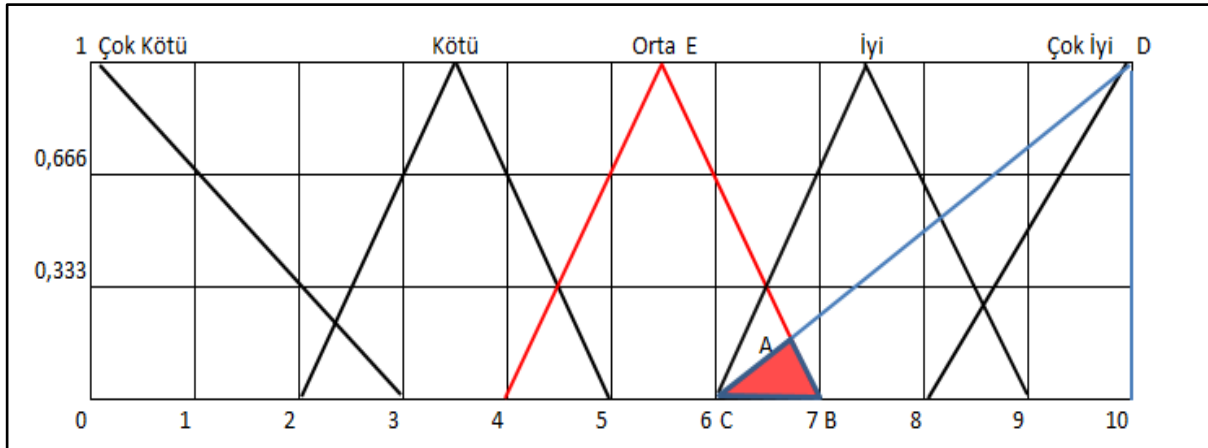
7. 3. 5. Taşıma Hacmi Kriterine Göre Bilgi Değerlerinin Hesaplanması

Sürekli malzeme akışının söz konusu olduğu bu üretim ortamında taşıma araçlarının sefer sayılarını azaltmanın yolu, olabildiğince yüksek hacimde malzemeyi en az sefer ile bir istasyondan diğerine nakletmekten geçiyor. İdeal iç lojistik ortamındaki tercih edilecek taşıma yönteminin taşıma hacmi parametre aralığı (6,10,10) şeklindedir.

Bu aralık, taşıma hacminde orta ve yüksek hacimli taşıma araçları ile malzeme taşımayı hedefleyen bir aralıktır. Alternatif taşıma yöntemlerinin bu kritere göre bilgi içeriklerinin hesaplanmasına bu konu başlığı altında yer verilmiştir.

El Arabası ile Taşıma

El arabası ile taşıma yönteminin taşıma hacmi kriterine göre parametre aralığı “orta”dır. İdeal taşıma hacminin ise (6,10,10) olması istenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.17),



Şekil 7.17 El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

Bu taşıma yöntemi için bilgi içeriği hesaplamasına Eşitlik 6.20 uyarınca aşağıdaki hesaplanmıştır. Diğer taşıma yöntemlerinin bilgi içeriği hesaplarına EK C üzerinden ulaşabilirsiniz.

$$I_1 = \log_2 \left(\frac{\text{Üçgensel bulanık sayılar sistem alanı}}{\text{Ortak alan}} \right) = I_{ETTH} = \log_2 \left(\frac{\frac{(7-4) \times 1}{2}}{\frac{(7-6) \times 0,18}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,09} \right) = 4,059 \quad (7.4)$$

Formüldeki ortak alan Şekil 7.13'deki kırmızı ile taranmış olan alandır. Bu alanın hesaplanabilmesi için öncelikle A noktasının y ekseninin bulunması gerekmektedir. A noktası $|EB|$ ve $|CD|$ doğrularının kesişim noktası olduğundan bu doğruların kesişim noktalarının hesabı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$|EB|$ doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$(x - 7) / (5,5-7) = (y-0) / (1-0)$$

$-2x - 3y + 14 = 0$ olarak hesaplanır.

$|CD|$ doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$(x - 6) / (10 - 6) = (y - 0) / (1-0)$$

$x - 4y - 6 = 0$ olarak hesaplanır.

Bu 2 doğru y için birlikte kullanıldığında,

$$-2x - 3y + 14 = 0$$

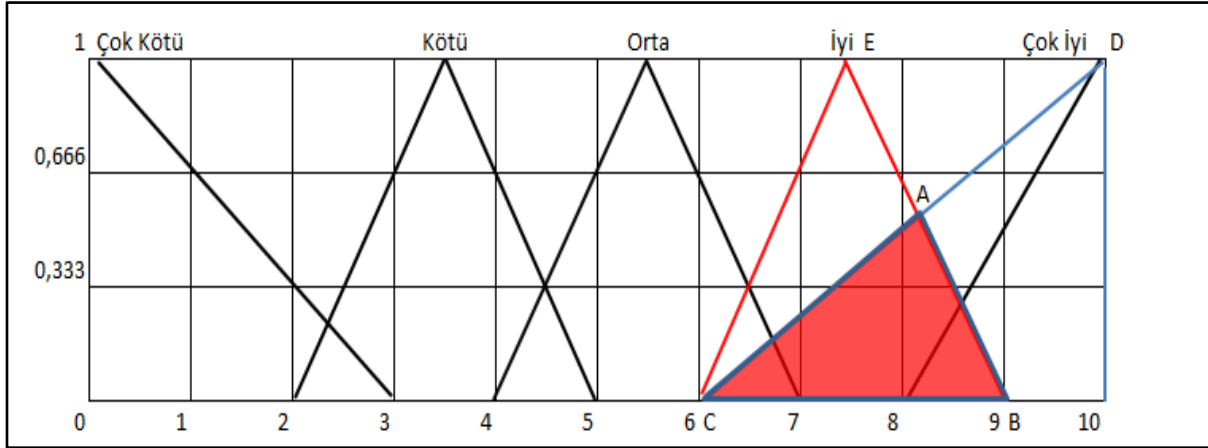
$$x - 4y - 6 = 0$$

$$y = 0,18$$

Bulunan y eksenini ile beraber (ABC) üçgeninin alanı yukarıda Eşitlik 6.20 formülü içinde hesaplanmıştır.

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma

Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma yönteminin taşıma hacmi kriterine göre parametre aralığı “iyi”dir. İdeal taşıma hacminin ise (6,10,10) olması istenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.18),

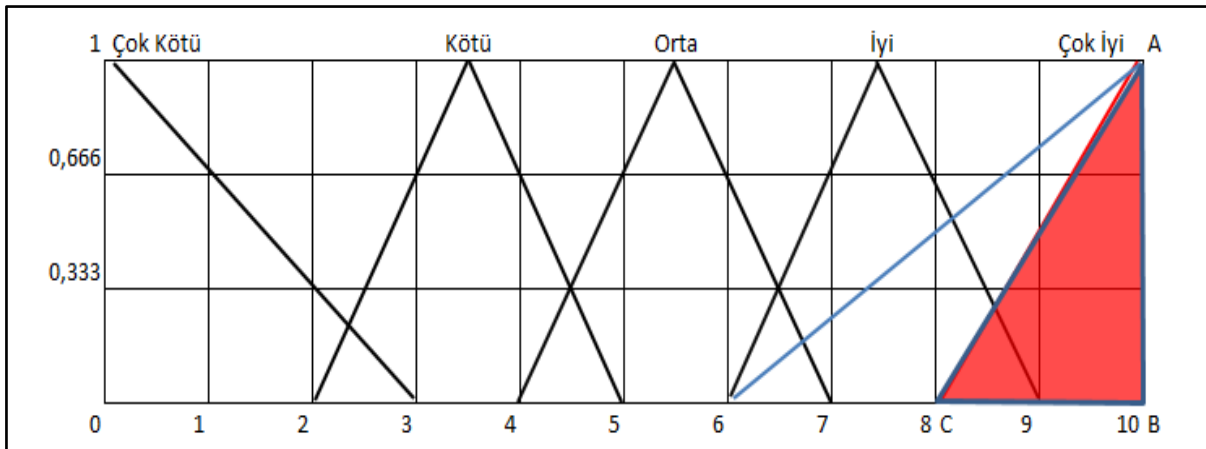


Şekil 7.18 Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

$$I_{DSTH} = 1,152$$

Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)

Bu taşıma yöntemi için taşıma hacmi kriteri parametre aralığı “çok iyi”dir. Bunun sebebi otomatik malzeme taşıma makinesinin büyük hacimli malzeme sevkiyatlarını hızlıca uzun mesafelerde taşıyabilmesidir. İdeal taşıma hacminin ise (6,10,10) olması istenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.19),

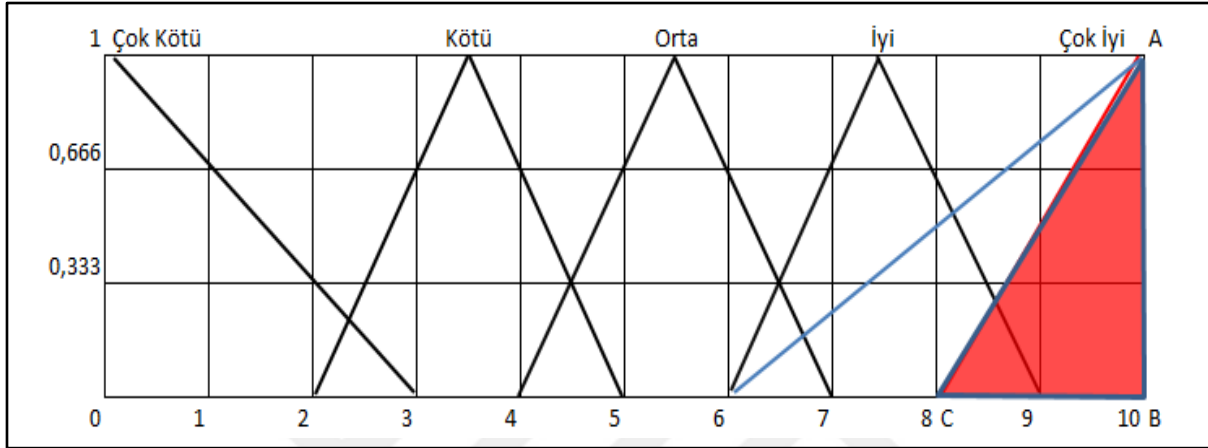


Şekil 7.19 Kombine taşıma 1 (otomatik boru taşıma makinesi + el arabası) ile taşıma

$$I_{KT1TH} = 0$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

Komine Taşıma 1 gibi bu taşıma yöntemi de malzemelerin otomatik taşınmasını içerdiğinden taşıma hacmi kriterine göre parametre aralığı “çok iyi”dir. İdeal taşıma hacminin ise (6,10,10) olması istenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.20),



Şekil 7.20 Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

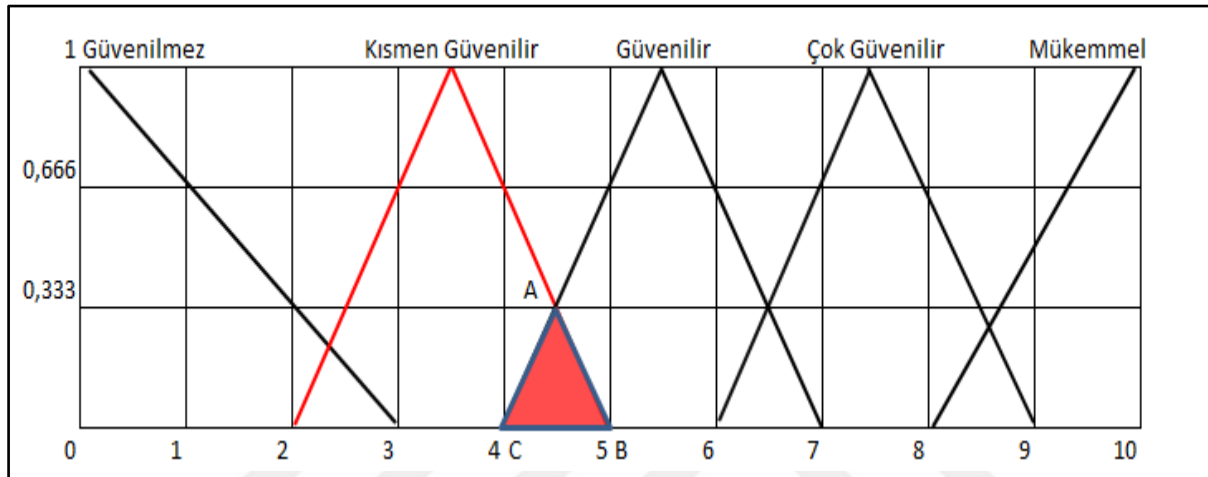
$$I_{KT2TH} = 0$$

7. 3. 6. Güvenilirlik Kriterine Göre Bilgi Değerlerinin Hesaplanması

Bu kriter, alternatif taşıma yöntemleri içerisinde yerleşik teamüllere aykırı olmayan ve yalnız iç lojistik literatürüne uygun taşıma yönteminin seçilebilmesi için lojistik uzmanları ile beraber belirlenmiş olan bir tekniktir. Diğer kriterlerin sunduğu parametre aralıklarının yalnız felsefeye aykırı olan bir taşıma alternatifini öne çıkarma ihtimaline karşı “güvenilirlik” kriteri geliştirilmiştir. Bu kriter ile 4 taşıma yönteminin akademik literatürde ve gerçek saha uygulamalarındaki güven düzeyleri incelenmiştir. İdeal iç lojistik yapısında güvenilirlik kriterinin parametre aralığı “güvenilir” şeklinde belirlenmiştir.

El Arabası ile Taşıma

Bu taşıma yöntemi, elleçleme operasyonlarının fazla olduğu emek yoğun bir taşıma yöntemidir. Ancak yalın lojistik felsefesinde elleçleme operasyonlarının olabildiğince az olması istenir. Parça akışının sürekli olduğu gerçek saha uygulamalarında ise el arabası ile taşıma pek tercih edilmemektedir. Bu nedenlerden dolayı bu taşıma yönteminin parametre aralığı “kısmen güvenilir” şeklinde belirlenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.21),



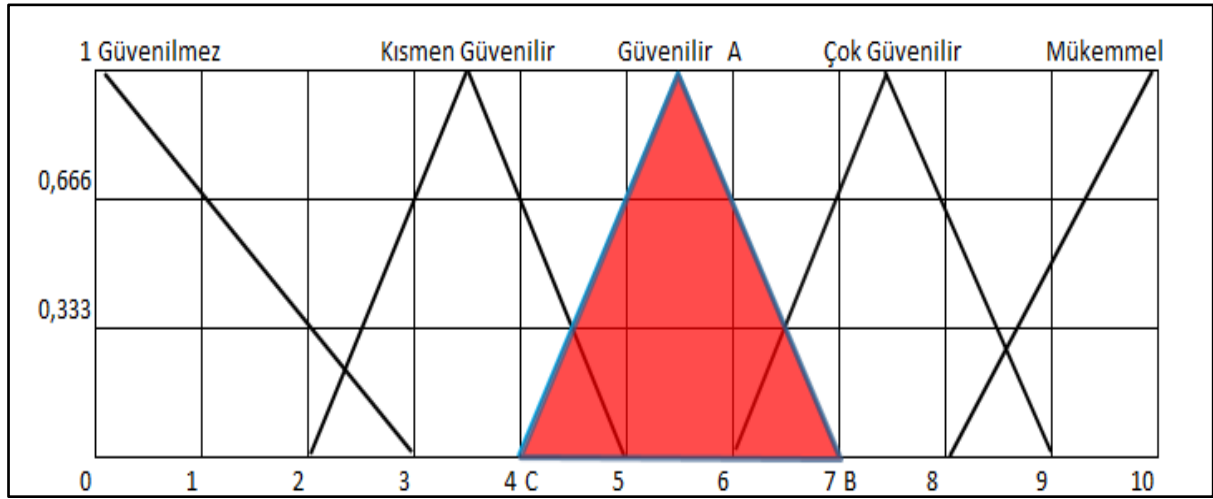
Şekil 7.21 El arabası ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

Eşitlik 6.20 kullanılarak “güvenilirlik” kriteri bakımından bu taşıma yönteminin bilgi değerinin hesaplanmasına aşağıda yer verilmiştir. Diğer taşıma yöntemlerinin ayrıntılı hesaplarına EK C’de yer verilmiştir.

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Üçgensel bulanık sayılar sistem alanı}}{\text{Ortak alan}} \right) = I_{ETG} = \log_2 \left(\frac{\frac{(5-2) \times 1}{2}}{\frac{(5-4) \times 0,333}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,1667} \right) = 3,17 \quad (7.5)$$

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma

Döngüsel sefer yapan kısa trenler yalın lojistik ile neredeyse özdeşleşmiş taşıma araçlarıdır. Sık sık ve yüksek hacimde sevkiyat yapmaya olanak tanıyan bu taşıma yönteminin hem bilimsel literatürde hem de saha uygulamalarında kendine oldukça fazla yer bulmuştur. Bu nedenlerden dolayı bu taşıma yönteminin güvenilirlik kriteri parametre aralığı “güvenilir” şeklinde belirlenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.22),

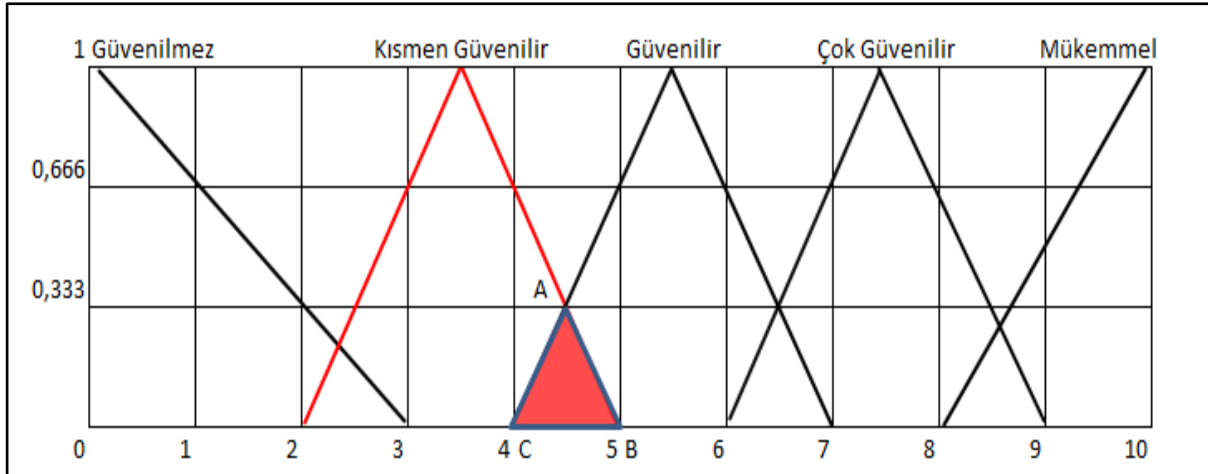


Şekil 7.22 Döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

$$I_{DSG} = 0$$

Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)

Bu taşıma yöntemi, içinde el arabası ile taşımayı içeren bir yöntem olduğundan el arabası ile taşıma yöntemi gibi bu yöntem için de güvenilirlik kriteri parametre aralığı “kısmen güvenilir” şeklinde belirlenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.23),

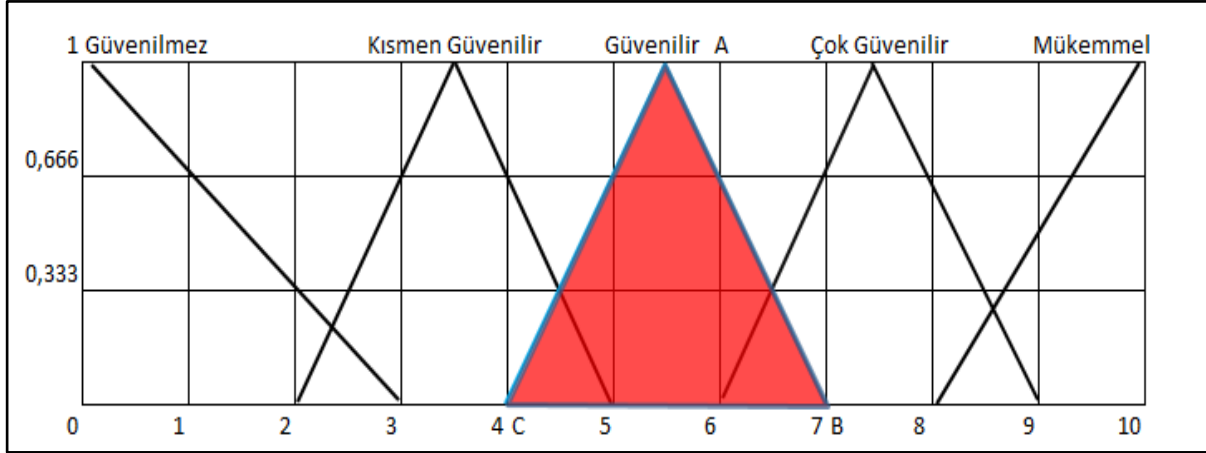


Şekil 7.23 Kombine taşıma 1 (otomatik boru taşıma makinesi + el arabası ile taşıma)

$$I_{KT1G} = 3,17$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

Döngüsel sefer yapan kısa trenlerin literatürdeki ve saha uygulamalarındaki başarısı nedeniyle bu taşıma yönteminin güvenilirlik kriteri parametre aralığı da “güvenilir” şeklinde belirlenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.24),



Şekil 7.24 Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması)

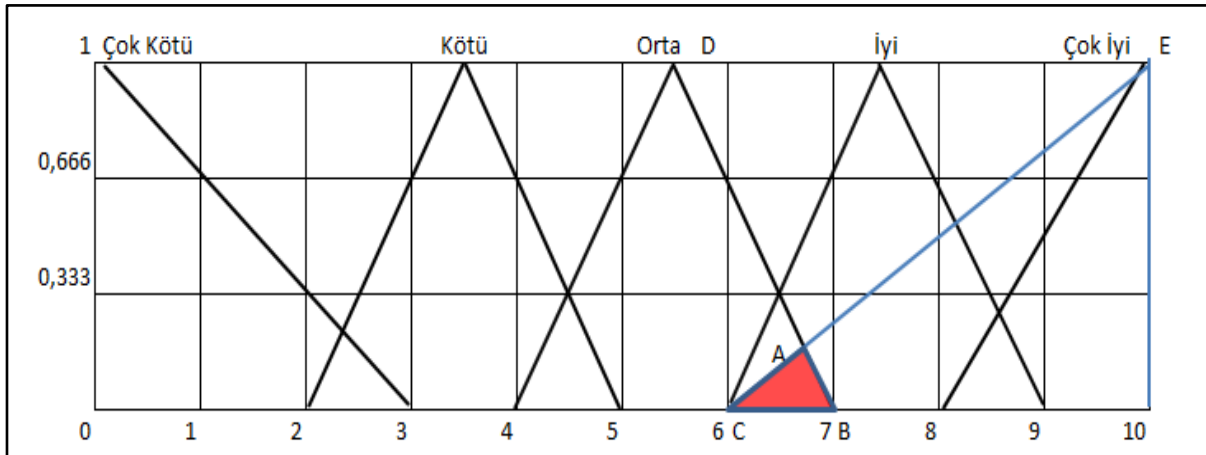
$$I_{KT2G} = 0$$

7. 3. 7. Koordinasyon Kolaylığı Kriterine Göre Bilgi Değerlerinin Hesaplanması

Bu kriter, taşıma araçlarının kolayca koordine edilebilmesi ve sürücülerin taşıma araçlarına kolayca atamalarını yaparak araçların organize edilebilmesi yeteneğini ölçmektedir. İdeal iç lojistik yapısında tercih edilecek taşıma yönteminin bu kriter için parametre aralığı (6,10,10) şeklinde belirlenmiştir. Bu kriter aralığı, koordinasyon kolaylığında orta ve daha yukarıda bir değeri olurlu kılar. Bu bölümde alternatif taşıma yöntemlerinin koordinasyon kolaylığı kriterine göre bilgi değeri hesaplamalarına yer verilmiştir.

El Arabası ile Taşıma

El arabası ile taşıma yönteminin koordinasyon kolaylığı kriteri bakımından parametre aralığı “orta” şeklinde belirlenmiştir. Mevcut durumda zaten uygulanmakta olan bu taşıma yöntemi, getirmiş olduğu karmaşa nedeniyle taşıma araçlarının koordinasyonu çok kolay olmamaktadır. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.25),



Bu taşıma yöntemi için koordinasyon kolaylığı bilgi içeriği aşağıdaki gibi Eşitlik 6.20 kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer taşıma yöntemlerinin hesaplamaları EK C’de yer almaktadır.

$$I_i = \log_2\left(\frac{\text{Üçgensel bulanık sayılar sistem alanı}}{\text{Ortak alan}}\right) = I_{ETKK} = \log_2\left(\frac{\frac{(7-4) \times 1}{2}}{\frac{(7-6) \times 0,18}{2}}\right) = \log_2\left(\frac{1,5}{0,09}\right) = 4,059 \quad (7.6)$$

Formüldeki ortak alan şeklinde belirtilen kısım Şekil 7.21 üzerindeki kırmızı alandır. Bu alan bulabilmek için A noktasının y eksenini bulmak gerekmektedir. A noktası, $|BD|$ ve $|CE|$ doğrularının kesişim noktasında yer almaktadır.

$|\text{BD}|$ doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$(x - 7) / (5,5 - 7) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$2x + 3y - 14 = 0$ olarak hesaplanır.

$|CE|$ doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$(x - 6) / (10 - 6) = (y - 0) / (1 - 0)$$

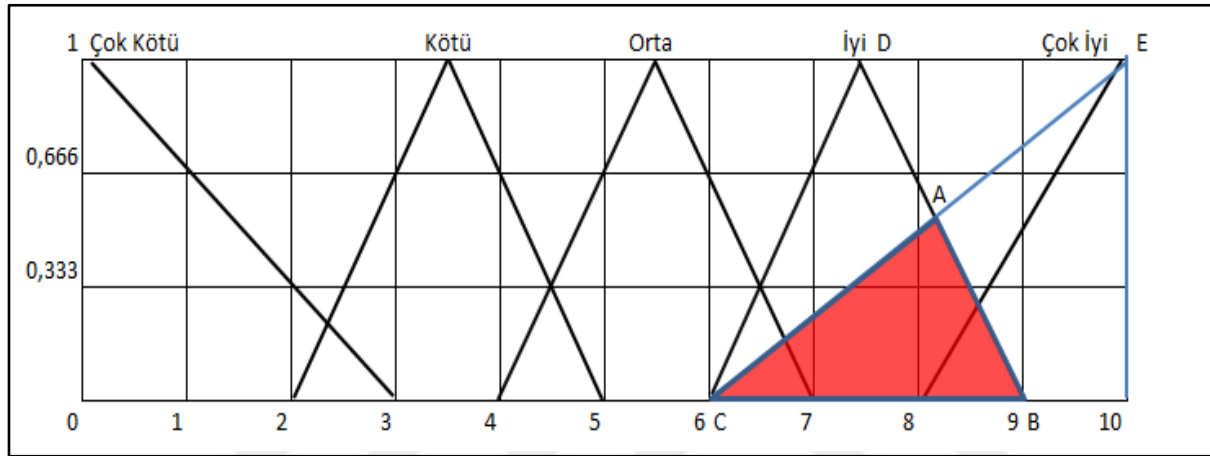
$x - 4y - 6 = 0$ olarak hesaplanır.

Bu 2 doğru y için birlikte kullanıldığında,

$$2x + 3y - 14 = 0$$

Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)

El arabaları ile malzeme taşımanın getirdiği koordinasyon zorluğuna karşın otomatik boru taşıma makineleri yüksek hacimde malzemeyi uzun mesafelerde hızlı ve güvenli bir şekilde taşıyabilmektedir. El arabası ile taşıma operasyonu istasyonlardaki üretim makineleri ile otomatik taşıma makinesi arasında gerçekleşecek olup bu taşıma işlemleri için daha az sayıda el arabası gerekeceği için lojistik uzmanları ile birlikte bu taşıma yöntemi için koordinasyon kolaylığı kriteri parametre aralığı “iyi” şeklinde belirlenmiştir. Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.27),

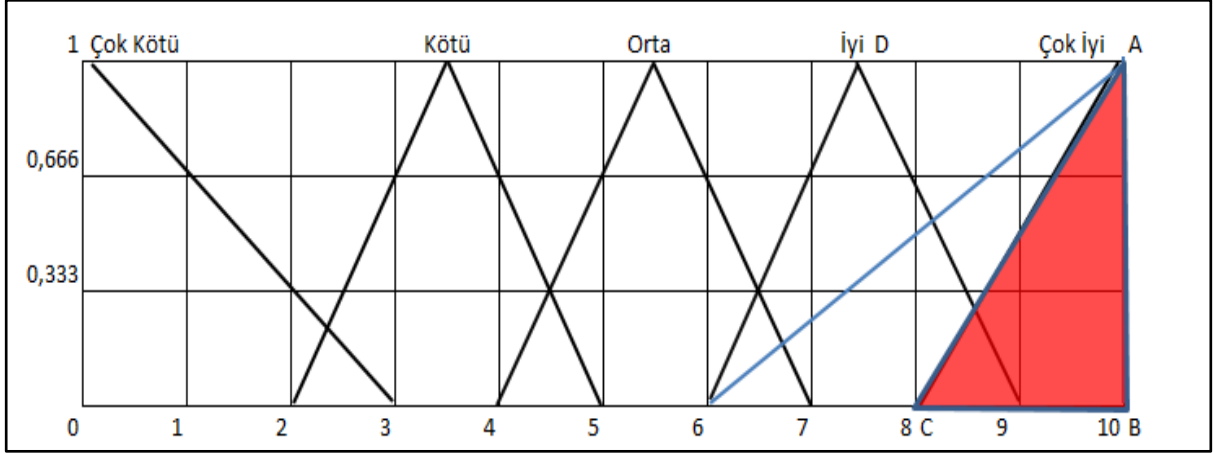


Şekil 7.27 Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

$$I_{KTİKK} = 0,876$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

Döngüsel sefer taşıma araçlarının getirdiği koordinasyon kolaylığına ilaveten otomatik malzeme taşıma makinesinin yüksek hacimde malzemeyi uzun mesafelerde hızlı ve güvenli şekilde taşıyabilmesi birlikte düşünülerek bu taşıma yöntemi için koordinasyon kolaylığı kriteri parametre aralığı “çok iyi” şeklinde belirlenmiştir. . Bu teknik için sistem ve tasarım aralıkları karşılaştırılacak olursa (Şekil 7.28),



Şekil 7.28 Kombine taşıma 2 (otomatik boru taşıma makinesi + döngüsel sefer yapan kısa trenler ile taşıma) için sistem ve tasarım aralıklarının karşılaştırılması

$$I_{KT2KK} = 0$$

4 taşıma yönteminin 7 kriter bakımından bilgi içeriği sonuçları Çizelge 7. 5’deki gibidir. Bulanık bilgi aksiyomu hesaplamalarına göre en düşük bilgi içeriğine sahip olan taşıma yöntemi, Komine Taşıma 2 olarak isimlendirilen “Otomatik Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma” yöntemidir. Dolayısı ile bu taşıma yönteminin seçilmesi uygun olacaktır.

Çizelge 7. 5 Taşıma yöntemleri için bilgi içeriği sonuçları

	I_{TK}	I_{LM}	I_{TS}	I_U	I_{TH}	I_G	I_{KK}	Toplam
ET	1	1,5	2	0	4,059	3,17	4,059	15,788
DS	0,48	4,91	1	3,17	1,152	0	0,876	11,588
KT1	0	2	0,41	0	0	3,17	0,876	6,456
KT2	0	0,071	0	3,17	0	0	0	3,241

7. 4. Ağırlıklandırılmış Bulanık Bilgi Aksiyomu Metodolojisi ile Uygun Taşıma Yönteminin Belirlenmesi

En uygun taşıma yönteminin seçilebilmesi için kullanılan kriterler aynı önem derecesine sahip olmadığından ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu metodolojisi kullanılabilir. Bu metodolojide yapılması gereken kriterlerin önem derecelerini firmanın lojistik uzmanları ile belirlemek olacaktır. Bu amaçla çalışmada 1-9 önem skalası kullanılarak kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılmış düzenlenen ikili karşılaştırma matrisi öz vektör yöntemi ile analiz

edilerek kriterlere ilişkin ağırlık değerleri belirlenmiştir. Çizelge 7. 6'da ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu için karşılaştırma tablosu sunulmuştur.

Çizelge 7. 6 Ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu için karşılaştırma tablosu

Kriterler	TK	LM	TS	U	TH	G	KK	Ağırlıklar (Wi)
TK	1	1/3	5	3	7	5	7	0,238
LM	3	1	7	5	9	7	9	0,416
TS	1/5	1/7	1	3	5	3	7	0,138
U	1/3	1/5	1/3	1	3	1	1	0,065
TH	1/7	1/9	1/5	1/3	1	3	3	0,057
G	1/5	1/7	1/3	1	1/3	1	1/3	0,039
KK	1/7	1/9	1/7	1	1/3	3	1	0,626

Eşitlik 6.21'deki belirtilen formül kullanılarak alternatif taşıma yöntemlerinin tüm kriterler için bilgi içerikleri hesaplanabilir. El arabası ile taşıma yöntemi için ayrıntılı hesaplamalara aşağıda yer verilmiş olup diğer taşıma yöntemlerinin hesapları EK C'de gösterilmiştir.

El Arabası ile Taşıma

$I_{ETTK} = 1$ olduğundan,

Eşitlik 6.21'deki formül kullanılarak

$$I_{ETTK} = W_{TK} = 0,238$$

$I_{ETLM} = 1,5$ olduğundan,

$$I_{ETLM} = (1,5)^{(0,416)} = 1,184 \quad (7.7)$$

$I_{ETTS} = 2$ olduğundan,

$$I_{ETTS} = (2)^{0,138} = 1,1 \quad (7.8)$$

$I_{ETU} = 0$ olduğundan sonuç değişmez yine aynıdır.

$I_{ETTH} = 4,059$ olduğundan,

$$I_{ETTH} = (4,059)^{0,057} = 1,083 \quad (7.9)$$

$I_{ETG} = 3,17$ olduğundan

$$I_{ETG} = (3,17)^{0,039} = 1,046 \quad (7.10)$$

$I_{ETKK} = 4,059$

$$I_{ETKK} = (4,059)^{0,057} = 1,083 \quad (7.11)$$

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma

$I_{DSTK} = 0,48$ olduğundan,

$$I_{DSTK} = 0,0458$$

$I_{DSLM} = 4,91$ olduğundan,

$$I_{DSLM} = 1,938$$

$I_{DSTS} = 1$ olduğundan,

$$I_{DSTS} = 0,138$$

$I_{DSU} = 3,17$ olduğundan,

$$I_{DSU} = 1,078$$

$I_{DSTH} = 1,152$ olduğundan,

$I_{DSTH} = 1,008$

$I_{DSG} = 0$ olduğundan sonuç değişmez yine aynıdır.

$I_{DSKK} = 0,876$ olduğundan,

$I_{DSKK} = 0,737$

Kombine Taşıma 1 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma)

$I_{KT1TK} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT1LM} = 2$ olduğundan,

$I_{KT1LM} = 1,334$

$I_{KT1TS} = 0,41$ olduğundan,

$I_{KT1TS} = 0,00016$

$I_{KT1U} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT1TH} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT1G} = 3,17$ olduğundan,

$I_{KT1G} = 1,046$

$I_{KT1KK} = 0,876$ olduğundan,

$I_{KT1KK} = 0,737$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma)

$I_{KT2TK} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT2LM} = 0,071$ olduğundan,

$I_{KT2LM} = 0,0017$

$I_{KT2TS} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT2U} = 3,17$ olduğundan,

$I_{KT2U} = 1,078$

$I_{KT2TH} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT2G} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT2KK} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

Ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu ile elde edilen sonuçlar Çizelge 7. 7’de derlenmiştir.

Çizelge 7. 7 Taşıma yöntemleri için ağırlıklandırılmış bilgi içeriği sonuçları

	I_{TK}	I_{LM}	I_{TS}	I_U	I_{TH}	I_G	I_{KK}	Toplam
ET	0,238	1,184	1,1	0	1,083	1,046	1,083	5,734
DS	0,0458	1,938	0,138	1,078	1,008	0	0,737	5,017
KT1	0	1,334	0,00016	0	0	1,046	0,737	3,117
KT2	0	0,0017	0	1,78	0	0	0	1,782

Bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu sonuçlarının karşılaştırılmasına Çizelge 7. 8’de yer verilmiştir.

Çizelge 7. 8 Bulanık bilgi aksiyomu ile ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Alternatif Taşıma Yöntemleri	Bulanık AD	Ağırlıklı Bulanık AD
El Arabası ile Taşıma	4. Öncelikli	4. Öncelikli
Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma	3. Öncelikli	3. Öncelikli
Kombine Taşıma 1	2. Öncelikli	2. Öncelikli
Kombine Taşıma 2	1. Öncelikli	1. Öncelikli

Bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu metodolojilerinin her ikisine göre “Kombine Taşıma 2” tekniğinin seçilmesi uygun olmaktadır. Bu taşıma yöntemi, otomatik malzeme taşıma makinesi ve döngüsel sefer yapan kısa trenlerin kullanılmasını içeren bir taşıma yöntemi olup üretimde yalın lojistik yapısının uygulanabilmesi için bu taşıma yöntemine başvurulmalıdır.

Mevcut durumda uygulanmakta olan “El Arabası ile Taşıma” yöntemi ise hem bulanık bilgi aksiyomuna göre hem de ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yöntemine göre en son tercih edilecek taşıma yöntemi olmuştur. Mevcut durumun yalın felsefeye aykırı oluşu ve üretim ortamında sebep olduğu aksaklıkların dışında bilimsel olarak da bu taşıma yönteminin kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

“Kombine Taşıma 2” tekniğine göre malzeme taşıma makinesinin de içinde olduğu fabrika yerleşimi ve döngüsel seferler ile bu makineden istasyonlara kısa trenler ile dağılımı gösteren malzeme hareketleri şablonuna Şekil 7.29’da yer verilmiştir.

Şekil incelendiğinde istasyonlar arası taşıma operasyonlarının otomatik malzeme taşıma makinesi ile yapıldığı görülecektir. Dolayısı ile istasyonlar arasındaki uzun mesafeler hızlı, güvenli ve hasarsız bir şekilde kat edilebilecektir. İstasyonlardaki malzemelerin otomatik taşıma makinesine ulaşımı ve otomatik taşıma makinesinden çıkan malzemelerin istasyonlara ulaşımı ise döngüsel sefer yapan kısa trenler ile sağlanacaktır. Mevcut taşıma yöntemi ile (el arabası ile taşıma) seçilen taşıma yönteminin (kısa trenler ile taşıma ve otomatik malzeme taşıma makinesi) karşılaştırması Çizelge 7. 9'daki gibidir.

Çizelge 7.9 El arabası ile taşıma ve kısa tren ve otomatik malzeme taşıma makinesi ile taşıma yöntemlerinin karşılaştırılması

El Arabası ile Taşıma Yöntemi	Kısa Tren ve Otomatik Malzeme Taşıma Makinesi ile Taşıma Yöntemi
İstasyonlar arası yolda geçen süre 7,5 dakikadır.	İstasyonlar arası yolda geçen süre 3,5 dakikadır (teslim süresi kriteri).
Taşıma trafiği çok fazladır.	Taşıma trafiği azdır (koordinasyon kolaylığı kriteri).
Üretim ortamında 91 adet el arabası kullanılmaktadır.	Üretim ortamında 30 adet kısa tren kullanılmaktadır
Günde ortalama 300 sefer yapılmaktadır ve yanlış makineye malzeme besleme fazladır.	Günde ortalama 100 sefer yapılmaktadır ve yanlış makineye malzeme besleme oranı azdır.
Hasarlanma oranı yüksektir (%92).	Hasarlanma oranı düşüktür (%98) (teslim kalitesi kriteri).
Aylık işletme gideri 200.000 TL'dir.	Otomatik malzeme taşıma makinesinin 20.000.000 TL kurulum maliyeti vardır. Aylık işletme gideri ise 65.000 TL'dir. Yatırım geri dönüş süresi 12 yıldır. Aylık işletme giderleri üzerinden 135.000 TL daha az işletme gideri söz konusudur (lojistik maliyet kriteri).
Üretim parkurunun %100'ü el arabası kullanımı için uygundur.	Üretim parkurunun %86'sı kısa tren kullanımı için uygundur (uygunluk kriteri).
El arabası taşıma hacmi sefer başına 500 metredir.	Kısa tren taşıma hacmi sefer başına 1500 metredir (taşıma hacmi kriteri).
Yalın lojistik literatürü ve iş uygulamalarına göre bu taşıma yöntemi kısmen güvenilir olarak sınıflandırılmıştır.	Yalın lojistik literatürü ve iş uygulamalarına göre bu taşıma yöntemi güvenilir olarak sınıflandırılmıştır (güvenilirlik kriteri).

Şekil 7.4’de genel üretim prosesine ve kullanılan el arabası sayılarına yer verilmişti. Oradaki araç sayıları ile doğru orantılı olarak kullanılacak kısa tren sayılarına Çizelge 7. 10’da yer verilmiştir. Kısa trenler, boru taşıma için özelleşmiş 3’er vagona sahiptir. 1 sürücü ile 3’er vagonluk malzeme taşıma operasyonu gerçekleştirilir.

Çizelge 7. 10 İstasyonlarda kullanılacak kısa tren sayıları

İstasyon Adı	İstasyonlarda Kullanılacak Kısa Tren Sayıları
Kesim	7
Çapak Alma	6
Sıyırma ve Şiring Takma	5
Rakor ve Havşa Takma	3
Fırınlama	3
Boru İçi Kamera Kontrol	3
Büküm ve Tapa	2

İlgili istasyona bağlı kısa trenler tam kapasite dolana kadar istasyondaki tüm makineleri dolaşır ve dolduğunda otomatik taşıma makinesine doğru hareket eder. Malzemeler teslim edildikten sonra otomatik taşıma makinesinden ilgili istasyonda işlem görecektir parçalar teslim alınır ve kısa tren bu sefer ters yönde hareket ederek istasyondaki makineleri dolaşarak parça beslemesi yapar. Kısa trenler hem gidişte hem dönüşte katma değerli hizmet sunar.

El arabası ile taşıma yönteminde 86 adet boru taşıma aracı kullanılmaktaydı. Otomatik taşıma makinesi ve döngüsel sefer yapan kısa tren ile taşıma yapılan taşıma yönteminde ise toplam 29 adet döngüsel sefer yapan kısa tren kullanılmaktadır. Üretim ortamında daha az taşıma aracı kullanımı ve malzeme hareketlerinin daha kısa mesafelerde düzenli gerçekleşiyor olması üretimde karmaşanın azalmasını sağlayacak olup yalın felsefeye de hizmet etmektedir.

Bundan sonraki kısımda seçilen yeni taşıma yönteminin üretim ortamına başarı ile uygulanması, hedeflenen sonuçların alınması ve yalın felsefe ile üretim ortamındaki lojistik faaliyetlerin etkinliğinin artırılması için bağımsızlık aksiyomu ile tasarım aşamasına geçilecektir.

7. 5 Yalın Lojistik Sisteminin Bağımsızlık Aksiyomu Metodolojisi ile Tasarımı

Bu bölümde tasarımcılar için döngüsel sefer – otomatik malzeme taşıma makinesi ile müşteri isteklerine göre taşıma yapmak amacıyla gerekli çalışmaları içeren rehber niteliğinde bir çalışma sunulmaktadır. Tasarımcı açısından bakıldığında sistemin bir bütün olarak anlaşılması ve tasarım amaçlarına uygun olarak gerekli tasarım değişikliklerinin yapılması kolay değildir. Sistemin elemanlarının belirlenmesi, bu elemanlar arası ilişkiler ve elemanların optimum tasarım için değerlendirilmesi tasarımcıyı zorlayan konulardır. Belirli tasarım elemanlarının seçimi diğer tasarım elemanlarının seçimini kısıtlayabilir veya engelleyebilir.

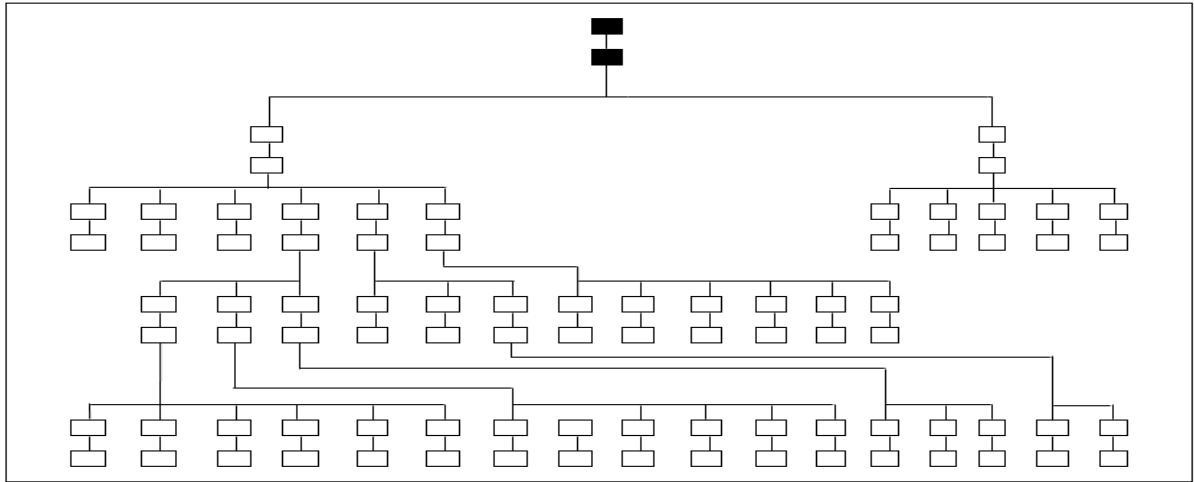
Bu çalışma kapsamında aksiyomlarla tasarım yaklaşımına göre söz konusu sorunları ortadan kaldıran, tasarımcıya yardımcı olan bir çalışma ortaya konulmuştur. Böylece bağımsızlık aksiyomu ile tasarım parametreleri arasında bağımsızlık sağlanarak tasarım sürecini zorlaştıran karmaşıklıklar önlenerek süreç sadeleştirilecektir. Tasarımdaki fonksiyonel ihtiyaçlar (FRs) ve bunlara denk gelen tasarım parametreleri (DPs); firmanın lojistik, üretim ve insan kaynakları uzmanları ile beraber gerek endüstrideki uygulamalar gerekse de literatürdeki benzer çalışmalardan faydalanılarak belirlenmiştir daha sonra uzman görüşüne başvurularak Prof. Dr. Mehmet Bülent Durmuşoğlu ile birlikte tasarım sadeleştirilerek son haline getirilmiştir.

1. Adım: Fonksiyonel Sahada Fonksiyonel İhtiyaçları (FRs) Seç: Sisteminin tasarımında ilk adım, fonksiyonel saha içinde sistem hiyerarşisinin en üst seviyesindeki fonksiyonel ihtiyacı (FR) belirlemektir. Bu adımda birbirinden farklı birçok fonksiyonel ihtiyaç belirlenebilir. En üst seviye için tek bir fonksiyonel ihtiyacı belirlenmeden önce, bu seviye için mümkün olabilecek tüm fonksiyonel ihtiyaçların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Bu çalışmada en üst seviyedeki fonksiyonel ihtiyaç aşağıda belirtildiği gibi seçilmiştir.

FR= Üretim verimliliğini arttıran iç lojistik sistemini sağla

2. Adım: Fiziksel Sahada Tasarım Parametrelerini (DPs) Seç: Bir önceki adımda belirlenen fonksiyonel ihtiyaçlara (FRs) karşılık gelen tasarım parametreleri (DPs), fonksiyonel saha ile fiziksel saha arasında gerçekleştirilen haritalandırma işlemi ile seçilir. En uygun tasarım parametresini (DP) seçmek için, seçilen fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelebilecek tasarım parametresi ayrıntılı değerlendirme sonucunda belirlenmelidir. İlk adımda belirlenen fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen tasarım parametresi aşağıda belirtildiği gibi seçilmiştir (Şekil 7.30).

DP= Yalın iç lojistik sistemi tasarımı



Şekil 7.30 Yalın iç lojistik (döngüsel sefer – otomatik malzeme taşıma makinesi) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması

3. Adım: Sahalar Arasında Yapılan Zikzaklarla Fonksiyonel Sahada Fonksiyonel İhtiyacın (FR) Ayrıştırılması: İlk adımda belirlenen fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen tasarım parametresi, daha ileri düzeyde açıklık getirilmeden uygulanamıyorsa, fonksiyonel sahaya dönülerek, ilgili fonksiyonel ihtiyacın daha alt düzeyde fonksiyonel ihtiyaçlara (FRs) ayrıştırılması, aksiyomlarla tasarım ilkeleri tarafından önerilmektedir. Aşağıda belirtilen alt seviyedeki fonksiyonel ihtiyaçlar ilk adımda belirtilen fonksiyonel ihtiyacın ayrıştırılması için tanımlanmıştır.

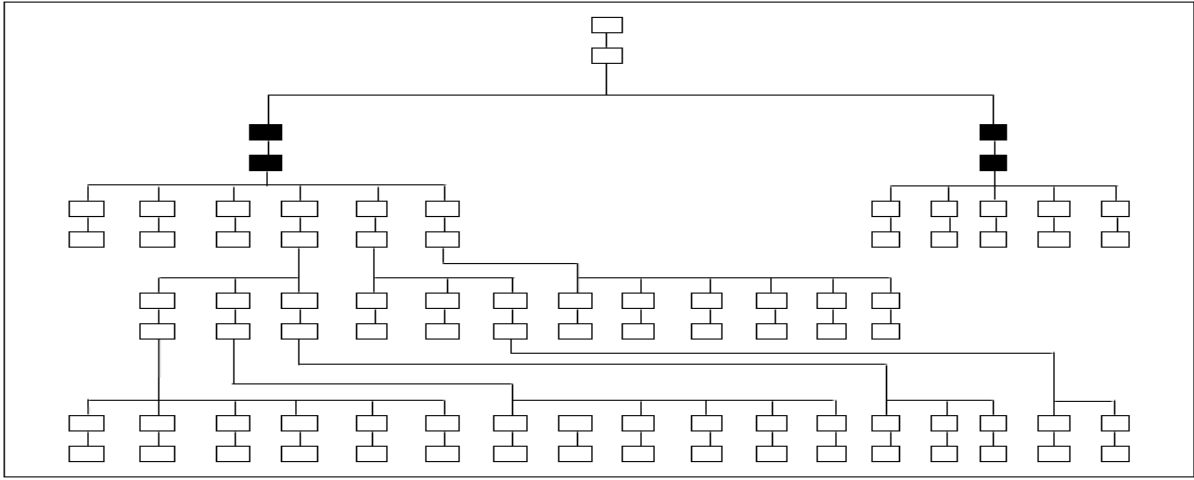
FR1= Talebe uygun iç lojistik sistemini sağla

FR2= Üretim lojistiğinde akışı sağla

4. Adım: Fiziksel Sahada Belirlenen Fonksiyonel İhtiyaçlara (FRs) Karşılık Gelen Tasarım Parametrelerinin (DPs) Bulunması: En üst seviyede belirlenen fonksiyonel ihtiyacın ayrıştırılması için belirlenen alt seviyedeki fonksiyonel ihtiyaçların her birine karşılık gelen tasarım parametreleri bu adımda belirlenir. Fonksiyonel sahadan fiziksel sahaya geçilerek elde edilen tasarım parametreleri aşağıda belirtilmiştir (Şekil 7.31).

DP1= Çekme esaslı iç lojistik taşıma sistemi

DP2= Organize edilmiş taşıma sistemi



Şekil 7.31 Yalın iç lojistik (döngüsel sefer – otomatik malzeme taşıma makinesi) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FRn – DPn)

5. Adım: Tasarım Matrisinin Belirlenmesi: Bu aşamada, 3 ve 4 nolu adımlarda belirlenen fonksiyonel ihtiyaçlar ve tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi hazırlanır. Belirlenen tasarım matrisinin aksiyomlarla tasarım ilkelerinin bağımsızlık aksiyomuna uygun olması oldukça önemlidir. Tasarım matrisi, ayırık veya ayrılmış tasarım ise bağımsızlık aksiyomuna uygundur. Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıda belirtilmiştir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} \\ \text{X} & \text{X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \end{pmatrix} \quad (7.12)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Talebe uygun iç lojistik sistemini sağla:

Talebe uygun iç lojistik sisteminin kurulması aşamasında uygun kısa tren, uygun malzeme taşıma otomasyonu, uygun bilişim sistemi, uygun organizasyon şemasının oluşturulması ve kesintisiz ve hasarsız taşımanın oluşturulması ile ilgili alt amaçlar söz konusudur. Müşteri beklentilerindeki değişimlere hızlı ve doğru şekilde cevap verebilmek için belirlenen yeni taşıma yöntemine uygun olarak bu alt amaçların sağlanması bir üst amaç olarak talebe uygun iç lojistik sisteminin kurulmasını sağlayacak böylece en tepedeki amaç olan üretim verimliliğini arttıran iç lojistik sisteminin sağlanmasına katkı sunacaktır.

Üretimdeki akışı sağlamak için taşımaları yeniden organize et:

En üst amaç olan üretim verimliliğini arttıran iç lojistik sisteminin sağlanması için gerekli olan bir diğer tasarım adımı da üretimdeki akışı sağlamak için taşımaları yeniden organize etmektir. Bu tasarım adımında taşıma hacimlerine göre kısa tren sayılarının belirlenmesi, bu kısa trenlerin alternatif rotalarının oluşturulması ve otomatik malzeme taşıma makinesi ile kısa trenler arasında malzeme hareketlerinin düzenlenmesi ile ilgili alt amaçlar yer almaktadır.

FR1'in Ayrıştırılması:

“Talebe uygun iç lojistik sistemini sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR1) ile bu fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen DP1 (çekme esaslı iç lojistik taşıma sistemi) birlikte değerlendirilerek aşağıda belirtildiği şekilde ayrıştırılmıştır (Şekil 7.32).

FR11= Alternatifler arasından en uygun kısa tren seçeneğini belirle

FR12= Alternatifler arasından en uygun malzeme taşıma makinesi seçeneğini belirle

FR13= Alternatifler arasından en uygun bilişim sistemini belirle

FR14= Nitelikli insan kaynağını sağla

FR15= Doğru bilgiyi doğru zamanda ilet

FR16= Sürekli, düzgün, hatasız ve hasarsız malzeme akışını sağla

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR1x) karşılık gelen tasarım parametreleri de (DP1x) aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP11= Kısa tren seçimi için çok kriterli karar verme metodolojisi

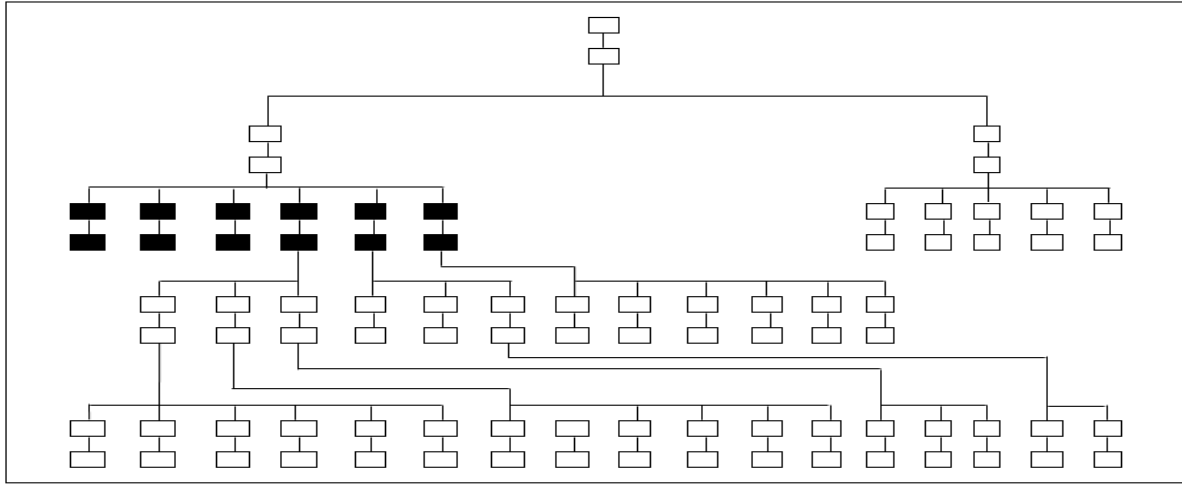
DP12= Otomatik malzeme taşıma makinesi seçimi için çok kriterli karar verme metodolojisi

DP13= İhtiyaçlara göre belirlenen koordinasyon parametreleri

DP14= İşgören seçim – eğitim prosedürü

DP15= Basit ve etkin bilgi akışı sistemi

DP16= Optimize edilmiş malzeme akışı



Şekil 7.32 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR1n – DP1n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR11} \\ \text{FR12} \\ \text{FR13} \\ \text{FR14} \\ \text{FR15} \\ \text{FR16} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & & & & & \\ 0 & X & & & & \\ 0 & 0 & X & & & \\ 0 & 0 & 0 & X & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP11} \\ \text{DP12} \\ \text{DP13} \\ \text{DP14} \\ \text{DP15} \\ \text{DP16} \end{pmatrix} \quad (7.13)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Alternatifler arasından en uygun kısa tren seçeneğini belirle:

Üretim ortamında el arabaları ile taşıma yapılan mevcut taşıma yönteminden kombine taşıma olarak adlandırılan döngüsel sefer ve otomatik malzeme taşıma makinesi ile taşımının yapılacağı önerilen taşıma yöntemine geçilirken gerekli olan tasarım adımlarından biri de uygun kısa tren seçeneğinin belirlenmesi adımıdır. Üretim ortamlarında kullanılabilecek birçok kısa tren seçeneği mevcuttur ancak bu seçeneklerden hangisinin bizim örneğimizdeki firmaya uygun olduğu, otomatik malzeme taşıma makinesi ile entegre bir şekilde çalışabileceği ve üretim parkurundaki rotalara uyum sağlayabileceği bu bölüm altında değerlendirilmesi gereken konulardır. Bu bilgilere göre potansiyel kısa tren seçenekleri belirlendikten sonra çok kriterli karar verme metodolojisi uygulanarak en uygun seçenek belirlenebilir.

Alternatifler arasından en uygun malzeme taşıma makinesi seçeneğini belirle:

Uygun kısa tren belirlendikten sonra sıradaki işlem uygun otomatik malzeme taşıma makinesi seçeneğinin belirlenmesidir. Uygulama çalışması yürüttüğümüz yan sanayi firmasında istasyonlar arasında uzun mesafeler vardır. El arabası ile taşıma yapılırken geçen sürenin büyük bir kısmı bu uzun mesafeleri aşarken harcanmaktadır. Bu nedenle malzemeleri bu uzun mesafelerde hızlı ve güvenli bir şekilde taşıyacak bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Otomatik malzeme taşıma makinesinin de bu ihtiyaca cevap vermesi düşünülmüştür. Uygun malzeme taşıma makinesi seçilirken kısa trenler ile entegre bir şekilde çalışabilmesi, taşınacak malzemelerin cinslerine uygunluk ve kurulumu yapacak firmaların güvenilirliği bu adım altında değerlendirilecektir. Bu bilgilere göre potansiyel firmalar belirlendikten sonra çok kriterli karar verme metodolojisi uygulanarak en uygun seçenek belirlenebilir.

Alternatifler arasından en uygun bilişim sistemini belirle:

Bu kısımda müşteri talebine uygun iç lojistik sisteminin sağlanması için uygun bilişim sisteminin belirlenmesi tasarım adımına yer verilmiştir. Müşteri taleplerini doğru şekilde alıp üretim departmanına aktaracak, üretimin doğru ve koordineli bir şekilde çalışmasını sağlayacak, üretim – kısa trenler – otomatik malzeme taşıma makinesinin entegre bir şekilde çalışmasını sağlayacak ve müşterilerin sistemleri ile kolayca entegre edilebilecek bütüncül bir şekilde yarar sağlayan bilişim sisteminin seçilmesi önemli bir tasarım adımıdır. İhtiyaçlara göre belirlenen koordinasyon parametreleri ile potansiyel seçenekler arasından en uygun bilişim sistemi belirlenebilir.

Nitelikli insan kaynağını sağla:

Bu tasarım adımı alt tasarım adımların oluşan önemli ve detaylı bir konudur. Nitelikli insan kaynağını sağlamak, uygun insan kaynağının sağlanarak, insan kaynağının kapasitesinden etkin yararlanarak ve işörenlerin performansını arttırarak mümkün olmaktadır. Nitelikli insan kaynağı firmaların en önemli gücüdür ve düzenli bir şekilde eğitilmeleri firmalara büyük yarar sağlar. Yalın iç lojistik felsefesi uygulamaya alınırken şüphesiz işgörenlerin de bu felsefeyi benimsemesi, uygulaması ve gerçekleştirecek değişikliklere uyum sağlaması beklenmektedir. Daha manuel bir iş yapış şekline otomotize, daha akıllı ve daha verimli bir iş yapış şekline geçerken çalışanların da eğitilerek nitelikleri arttırılmalıdır. Buna göre işgören seçim – eğitim prosedürleri ile hedeflenen seviyede nitelikli insan kaynağı sağlanabilir.

Doğru bilgiyi doğru zamanda ilet:

Bu adımda bilgi akışındaki aksaklıklardan kaynaklanan sorunların ortadan kaldırılması ve çekme esaslı lojistik kontrol sisteminin doğru kurgulanması için gerekli olan bilgilere yer verilmiştir. Bu tasarım adımının da alt tasarım adımları mevcut olup bilgilerin üretim prosesi boyunca doğru, kesintisiz ve anlık olarak akması çok önemlidir. Tedarikçiler ve müşteriler ile ortak yazılımların doğru kullanılması, zamanında bilgi akışının sağlanması ve bilgi akışındaki kayıpların yok edilmesi ilgili alt amaçlar olup basit ve etkin bir bilgi akışı sistemi ile doğru bilginin doğru zamanda iletilmesi mümkün olacaktır.

Sürekli, düzgün, hatasız ve hasarsız malzeme akışını sağla:

Bu adım sürekli, düzgün, hatasız ve hasarsız şekilde malzeme akışının devam etmesi için gerekli olan bir tasarım adımıdır. En az sevkiyatla en yüksek taşıma hacmini sağlama, makinelerin ve taşıma araçlarının verimliliğini arttırma, teslimatı doğru ve hasarsız şekilde sağlama, otomatik malzeme taşıma makinesi ve kısa tren entegrasyonunun üretimi aksatmayacak şekilde kurgulama ve kısa trenlerden üretim makinelerine malzeme besleme ve üretim makinelerinden çıkan malzemelerin teslim almalarının doğru şekilde yapılması amacıyla alt tasarımlar oluşturulmuştur. Malzeme akışını optimize ederek ve gerekli iyileştirmeleri yaparak malzeme akışının sürekli, düzgün, hatasız ve hasarsız şekilde gerçekleştirmesi mümkündür. Malzeme akışının optimizasyonu ise ancak alt tasarım adımlarının yerine getirilmesi ile mümkündür.

FR14'ün Ayrıştırılması:

“Nitelikli insan kaynağını sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR14) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP14 (İşgören seçim – eğitim prosedürü) birlikte değerlendirilerek aşağıda belirtildiği şekilde ayrıştırılmıştır (Şekil 7.33).

FR141= Kriterleri belirlenmiş potansiyel insan kaynağını belirle

FR142= İşgörenlerin kapasitesinden ve yeteneğinden en yüksek ölçüde faydalanan

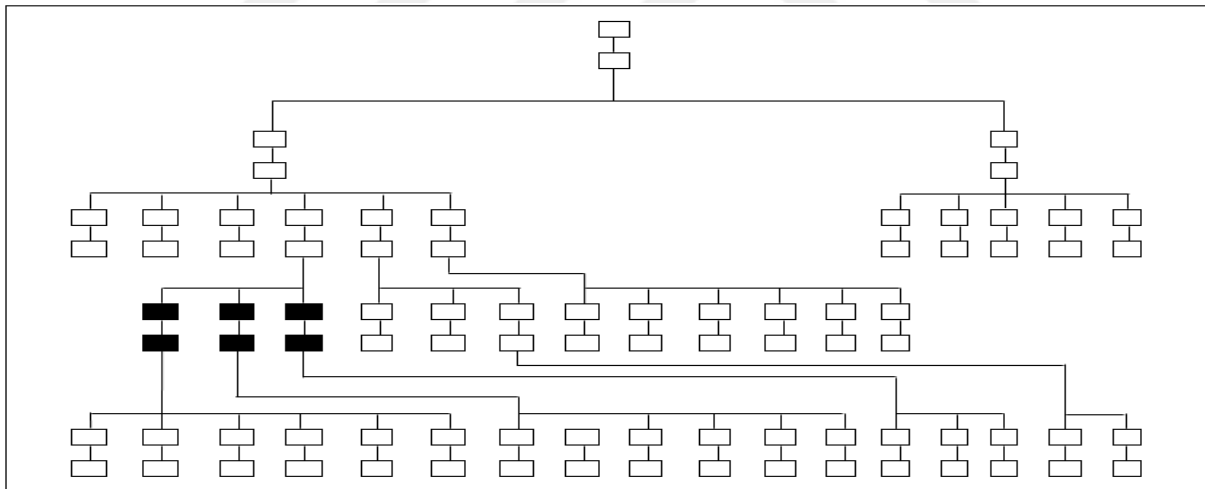
FR143= İşgörenlerin performansını artır

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR14x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP14x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP141= İç lojistiğe uygun işgören atama prosedürü

DP142= Beceri geliştirme prosedürü

DP143= Kayıpları azaltma prosedürü



Şekil 7.33 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR14n – DP14n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR141} \\ \text{FR142} \\ \text{FR143} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} \\ \text{X X} \\ \text{X X X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP141} \\ \text{DP142} \\ \text{DP143} \end{pmatrix} \quad (7.14)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Kriterleri belirlenmiş potansiyel insan kaynağını belirle:

Bu adımda yalın iç lojistik yapısına uygun insan kaynağının belirlenmesi ile ilgili tasarım adımına yer verilmiştir. Bu adımın başka alt tasarımları da mevcut olup söz konusu alt tasarımlar başka alt tasarımlara sahip değildir ve hiyerarşinin en altındaki tasarımlardır. Söz konusu adımların tamamı yerine getirildiğinde uygun insan kaynağı sağlanmış olacaktır. İç lojistiğe uygun işgören atama prosedürü ile iç lojistik ve yalın felsefe mantığına sahip işgörenler ile bu adım yerine getirilebilecektir.

İşgörenlerin kapasitesinden ve yeteneğinden en yüksek ölçüde faydalan:

Bu adımda işgörenlerin yeteneğinden ve kapasitesinden en yüksek ölçüde faydalanmak amacıyla gerekli olan çalışmalara yer verilmiştir. Bu adım alt tasarım adımlarına sahip olup söz konusu alt tasarımlar başka alt tasarımlara sahip değildir ve hiyerarşinin en altındaki tasarımlardır. İşgöreni en aktif şekilde değerlendirmek için eğitim çalışmalarının ön planda olduğu alt tasarımlar söz konusudur. Eğitim çalışmaları başarılı şekilde tamamlanan işgörenlerin yeteneğinden ve kapasitesinden en üst düzeyde faydalanılması hedeflenmiştir. Beceri geliştirme prosedürü ile işgörenlerin kapasitesinden ve yeteneğinden en üst düzeyde yararlanma sağlanabilir.

İşgörenlerin performansını arttır:

İşgörenlerin taşıma faaliyetleri bakımından performansının ençoklanması ile kısa trenlerin doğru üretim makinesine malzeme teslimi yapması, iş yapma hareketlerini azaltması ve malzeme teslim alma ve malzeme besleme operasyonlarındaki hataların önüne geçilmesi hedeflenmiştir. İşgören performansının artması için etkin bir kayıpları azaltma prosedürü uygulanması gerekmektedir. Bu tasarım adımının da alt tasarım adımları mevcut olup söz

konusu alt tasarım adımlarında iş yapma hareketlerini en aza indirme ve hatalı taşıma faaliyetlerini en aza indirme üstüne yoğunlaşmıştır.

FR141'in Ayrıştırılması:

“Kriterleri belirlenmiş potansiyel insan kaynağını belirle” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR141) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP141 (İç lojistiğe uygun işgören atama prosedürü) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır (Şekil 7.34).

FR1411= İşin fonksiyonlarını oluşturan süreçleri belirle

FR1412= İşin gerektirdiği kriterleri tespit et

FR1413= İşe ve gerekli yetkinliklere göre işgören sayısını belirle

FR1414= İşgörenleri yeteneklerine göre ilgili işlere atamasını yap

FR1415= Dışarıdan görüşülen adayların yetkinlik analizlerini yap

FR1416= Çalışma organizasyonunu yeniden oluştur

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR141x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP141x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP1411= İş analizi

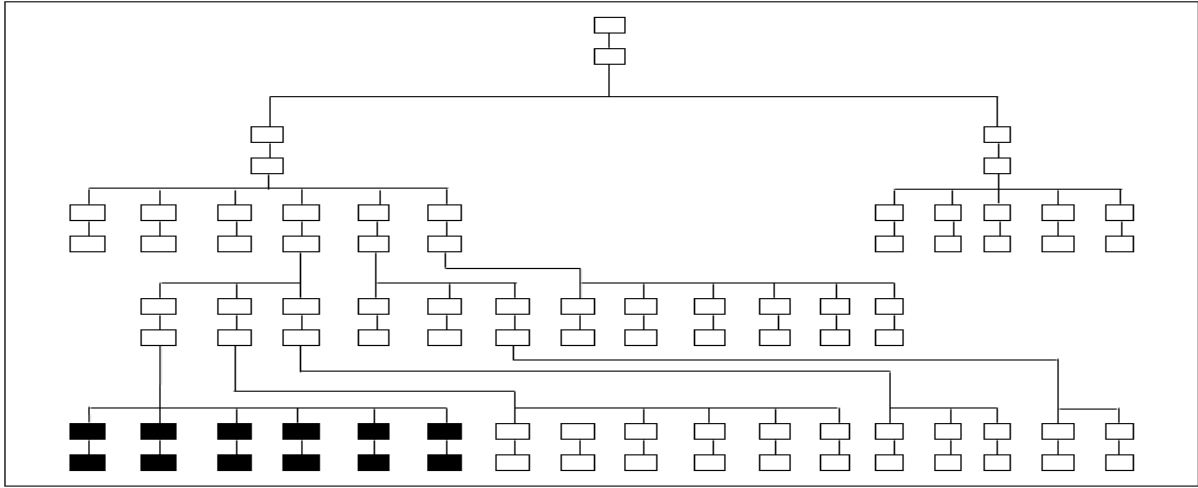
DP1412= Yetkinlik analizi

DP1413= İş yükü analizi

DP1414= İşgören atama prosedürü

DP1415= Fonksiyon bazlı yetkinlik analizi

DP1416= Nihai işgören ataması



Şekil 7.34 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR141n – DP141n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR1411} \\ \text{FR1412} \\ \text{FR1413} \\ \text{FR1414} \\ \text{FR1415} \\ \text{FR1416} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} \\ \text{X X} \\ \text{X X X} \\ \text{X X X X} \\ \text{X X X X X} \\ \text{X X X X X X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP1411} \\ \text{DP1412} \\ \text{DP1413} \\ \text{DP1414} \\ \text{DP1415} \\ \text{DP1416} \end{pmatrix} \quad (7.15)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

İşin fonksiyonlarını oluşturan süreçleri belirle:

İşgören kaynağının belirlenebilmesi uygun işgörenin seçilmesi ile mümkündür. Uygun işgörenin seçilmesi için ise “uygunluk” tanımının net olması gerekir. İşe göre işgören seçilmesi gerektiği için öncelikle işin fonksiyonları belirlenmeli daha sonra da bu fonksiyonları oluşturan süreçler belirlenmelidir. Bunun için de iş analizi çalışmaları yürütülmelidir.

İşin gerektirdiği kriterleri tespit et:

Personelin bilimsel temellere dayanılarak işe alınabilmesi için önceden, başvuranların durumlarının karşılaştırılmasını sağlayacak bazı standartların belirlenmesi gerekir. Bu standartlar herhangi bir kişinin işe alınabilmesi için sahip olması gereken asgari koşul ve nitelikleri belirler. Bu koşul ve niteliklerin belirlenmesinde personelin işe alınacağı pozisyonların incelenmesi ve gerekliliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de ilgili süreçlerin “yetkinlik analizi”ne tabi tutulması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

İşe ve gerekli yetkinliklere göre işgören sayısını belirle:

İş yükü analizi belirli bir süre içinde belirli bir işin yapılması için gerekli personel sayısının belirlenmesini sağlar. Sistemin başarılı olarak işleyebilmesi için süreçlerdeki gerekli iş yüklerinin dolayısıyla personel ihtiyacının yerine getirilmesi gerekmektedir.

İşgörenleri yeteneklerine göre ilgili işlere atamasını yap:

İş analizi ve iş yükü tespiti kapsamında elde edilen veriler neticesinde belirlenen gerekli personelin niteliklerine ve sayısına uygun atamaların yapılmasında, firma kültürüne sahip ve benzer pozisyonlarda daha önce çalışmış olan firma içindeki çalışanların öncelikli olarak değerlendirilmesi faydalı olacaktır. Bu, süreçlerin hızlı bir biçimde yerine oturmasını ve istenen performansın yakalamasını sağlayacaktır. Mevcut personelin yetkinlikleri tarafından doldurulamayan pozisyonlar için firma dışından atamalar gerçekleştirilmelidir.

Dışarıdan görüşülen adayların yetkinlik analizlerini yap:

Mevcut personelin, pozisyonlar için belirlenen çalışan kriterlerine uygun olmaması durumunda, firma dışından personel temin etme yoluna gidilmelidir. Bu noktada önceki adımlarda belirlenen, pozisyonlara ilişkin yetkinlik kriterlerine uygun personel tespit edilmelidir. Dolayısıyla görüşülen personelin yetkinliklerinin belirlenmesi gerekmektedir ve işin gerektirdiği kriterlere uygun olup olmadığının analizi yapılmalıdır.

Çalışma organizasyonunu yeniden oluşturun:

Önceki adımda yetkinlikleri belirlenen personel adayları içinden, pozisyonların kriterlerine uygun olan ve ön koşulları sağlayan kişilerin pozisyonlara atamaları nihai personel atama planı çerçevesinde gerçekleştirilir.

FR142'nin Ayrıştırılması:

“İşgörenlerin kapasitesinden ve yeteneğinden en yüksek ölçüde faydalan” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR142) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP142 (İç lojistiğe uygun beceri geliştirme prosedürü) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır (Şekil 7.35).

FR1421= Genel eğitim ihtiyaçlarını belirle

FR1422= Eğitim kaynaklarını belirle

FR1423= Eğitim planlamasını yap

FR1424= Eğitimin yeterliliğini ve verimliliğini sağla

FR1425= Eğitim performansını ölç

FR1426= İşgörenlere yalın felsefeyi benimset

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR142x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP142x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP1421= İşgören – eğitim konuları ilişki matrisi

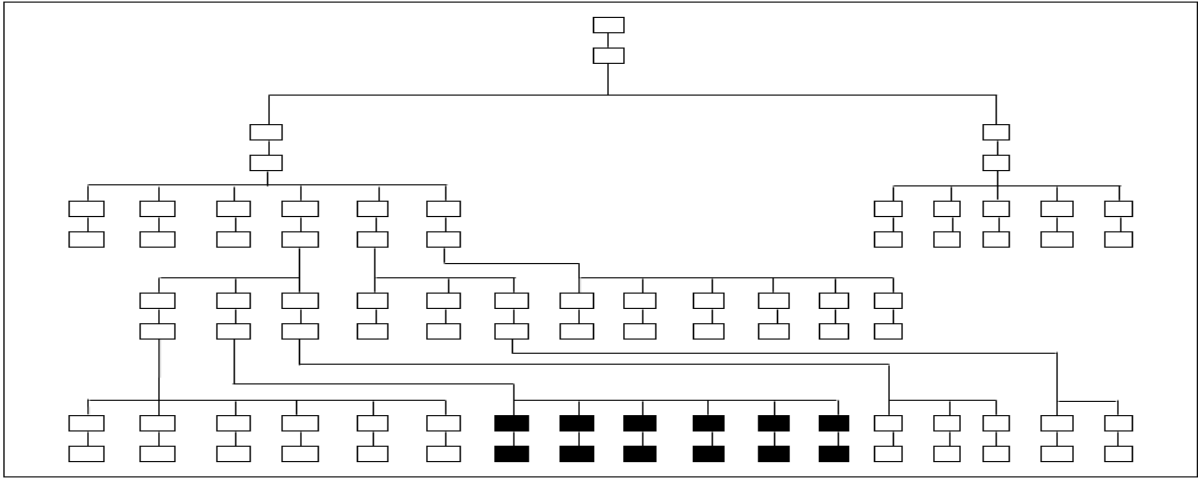
DP1422= Eğitim yeri belirleme prosedürü

DP1423= Oluşturulan eğitim çizelgesi

DP1424= Eğitim kurumu ve eğitimci profili izleme prosedürü

DP1425= Eğitim sonu sınavları, işgören sunumları ve anket uygulamaları ile takip prosedürü

DP1426= Planlanan dönemsel yalın eğitimleri



Şekil 7.35 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR142n – DP142n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR1421} \\ \text{FR1422} \\ \text{FR1423} \\ \text{FR1424} \\ \text{FR1425} \\ \text{FR1426} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} \\ \text{X X} \\ \text{X X X} \\ \text{X X X X} \\ \text{X X X X X} \\ \text{X X X X X X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP1421} \\ \text{DP1422} \\ \text{DP1423} \\ \text{DP1424} \\ \text{DP1425} \\ \text{DP1426} \end{pmatrix} \quad (7.16)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Genel eğitim ihtiyaçlarını belirle:

Farklı taşıma sistemi ilkelerine alışkın olan veya hiç sektör tecrübesi olmayan tüm elemanlara yeni sistemin getirdiği bütün ilkeleri öğretmek uygulamanın başarısı açısından oldukça kritiktir. Uygulamanın başarıya ulaşması için, yeni felsefenin ve ilkelerinin benimsenmesi zorunludur. Bu nedenle amaçlar doğrultusunda tüm çalışanların eğitim ihtiyaçlarını belirlemek ve bu ihtiyaçları karşılayan çok amaçlı eğitim programları hazırlamak gerekir.

Eğitim kaynaklarını belirle:

Eğitim ihtiyacının belirlenmesinden sonra ilk yapılması gereken eğitimi verecek dinamik eğitim kaynağının saptanmasıdır. Bu ihtiyaç danışmanlık kuruluşları, firma içi ya da firma dışından konusunda uzman bireyler ve üniversiteler aracılığı ile ulaşılan nitelikli eğitmenlerce karşılanır. Belirlenen eğitmen(ler), eğitimin etkinliğinin sağlanması için çeşitli kapsamlar çerçevesinde eğitimi alacak kişi sayısı ve bu kişilerin eğitim sürelerini (zaman ve işgücü dengelemesi) belirleyecektir.

Eğitim planlamasını yap:

Belirlenen eğitmen(ler)'in, eğitimin etkinliğinin sağlanması için çeşitli kapsamlar çerçevesinde eğitimi alacak kişi sayısı ve bu kişilerin eğitim sürelerini (zaman ve işgücü dengelemesi) belirlenmesinden sonra, mavi ve beyaz yakalıların eğitim çizelgeleri oluşturulacak ve ardından öncelikli ihtiyaca göre (departman, yaş, çalışan sayısı vs.) hazırlanacak seçim prosedürü ile eğitime katılacak kişiler belirlenecektir.

Eğitimin yeterliliğini ve verimliliğini sağla:

Eğitimin fiziksel verimliliğinin sağlanması en uygun mekânın seçimi anlamına gelmektedir. Seçim; maliyet, mekân (şirket içi ya da otel vb. şirket dışı yerler), uygulamalı çalışma (bilgisayar sayısı gibi teknik donanım), katılacak kişi sayısı, telefon/ses yoğunluğu, aydınlatma (konsantrasyon sorunu) gibi saptanan kriterlere göre yapılır.

Eğitim performansını ölç:

En son aşamada, daha önce belirlenen çizelge, kapsam ve mekân bir araya getirilerek (eğitim organizasyonu) eğitim yapılır. Eğitimlerin sonunda eğitimin etkinliğinin değerlendirilmesi açısından çeşitli anketler yapılabilir, öneriler alınarak mevcut eğitim sisteminin bileşenleri üzerinde iyileştirmeler sağlanabilir.

İşgörenlere yalın felsefeyi benimset:

İşgörenlere verilecek eğitimlerin en önemli amacı yalın felsefeyi benimsemelerini sağlamaktır. Çalışanların yalın felsefe terminolojisine sahip olması, hangi durumda nasıl bir aksiyon almaları gerektiğini öğrenmeleri, otomasyon yapısına alışmaları ve en az iş yapma hareketi ile en fazla sayıda işi yerine getirebilmeleri yalın felsefeyi benimsemeleri ile mümkündür. Bunun için de eğitimler ve örnek uygulamalar planlanarak ilerlenebilir.

FR143'ün Ayrıştırılması:

“İşgörenlerin performansını artırır” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR143) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP143 (kayıpları azaltma prosedürü) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır (Şekil 7.36).

FR1431= Kısa trenlerin yanlış üretim makinesine malzeme teslim etmesini engelle

FR1432= Tüm iş yapma hareketlerini en aza indir

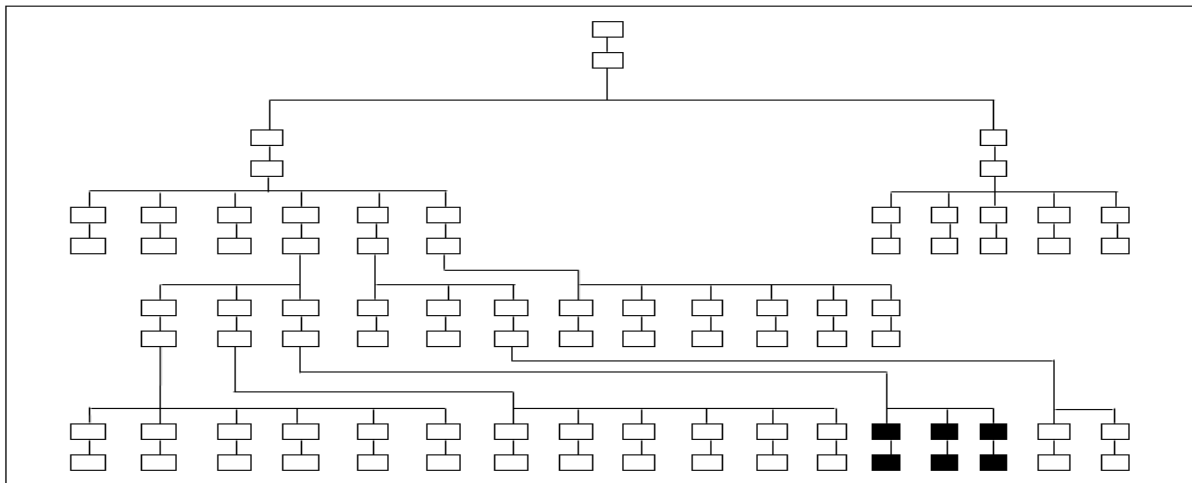
FR1433= Malzeme teslim alma / besleme operasyonlarındaki hataları yok et

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR143x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP143x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP1431= Kısa tren sistemi ile istasyonlardaki görsel panoların bütünleştirilmesi

DP1432= Etkinleştirilmiş ekipman kullanım talimatı

DP1433= Tasarlanmış Poke Yoke tabanlı görsel panolar



Şekil 7.36 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR143n – DP143n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR1431} \\ \text{FR1432} \\ \text{FR1433} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} \\ \text{X X} \\ \text{X X X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP1431} \\ \text{DP1432} \\ \text{DP1433} \end{pmatrix} \quad (7.17)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Kısa trenlerin yanlış üretim makinesine malzeme teslim etmesini engelle:

El arabası ile manuel bir şekilde taşıma yapılırken yapılan en büyük ve en sık yapılan hatalardan biri de yanlış üretim makinesine malzeme beslemesi yapmaktır. Süreç manuel ilerlediği için de uyarı levhaları çok fazla yönlendirici olamıyordu, işgöreni doğru üretim makinesine yönlendirecek bir bilgi işlem sistemi mevcut değildi. Kısa trenler ile taşıma yapılırken doğru malzemeyi doğru üretim makinesine yönlendirmek “kısa tren sistemi ile istasyonlardaki görsel panoların bütünleştirilmesi” mümkün olacaktır. Kısa trenlerdeki navigasyon ve üretim makinelerinin başındaki görsel panolar sesli ve görsel uyarılar ile sürücüyü doğru bir şekilde yönlendirebilecektir.

Tüm iş yapma hareketlerini en aza indir:

Kısa tren ve otomatik malzeme taşıma makinesi ile taşıma yapılan yalın lojistik yönteminde iş yapma hareketlerini aza indirmek, etkinleştirilmiş ekipman kullanım talimatı ile mümkündür. Söz konusu taşıma yönteminde kısa trenler, üretim makineleri, üretim makinesi ve kısa tren arasındaki malzeme hareketleri ve kısa tren ve otomatik malzeme taşıma makinesi arasındaki malzeme hareketleri işgören tarafından sağlanacağı için bu operasyonların en az iş yapma hareketleri ile hızlı ve verimli şekilde yapılabilmesi için sade, anlaşılır ve görsel öğelerle desteklenmiş kullanım talimatları hazırlanmalı ve işgörelere ulaştırılmalıdır.

Malzeme teslim alma / besleme operasyonlarındaki hataları yok et:

Söz konusu operasyonlar üretim makineleri ve kısa trenler arasındaki malzeme hareketleri ile kısa trenler ve otomatik malzeme taşıma makinesi arasındaki malzeme hareketleridir. Bu malzeme hareketleri sırasında yapılacak hatalar işleyişin verimliliğini düşüreceğinden, kısa trenlerin fazladan yol yapmalarına sebep olacağından ve malzemelerin yanlış üretim

makinesine teslim edilmesine sebep olacağından yalın felsefeye aykırı bir durum ortaya çıkacaktır. Tasarlanmış Poke Yoke tabanlı görsel panolar ile bu operasyonlardaki hataların önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

FR15'in Ayrıştırılması:

“Doğru bilgiyi doğru zamanda ilet” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR15) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP15 (Basit ve etkin bilgi akışı sistemi) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır (Şekil 7.37).

FR151= Tedarikçiler ve müşteriler ile ortak yazılımı doğru kullan

FR152= Zamanında bilgi akışını sağla

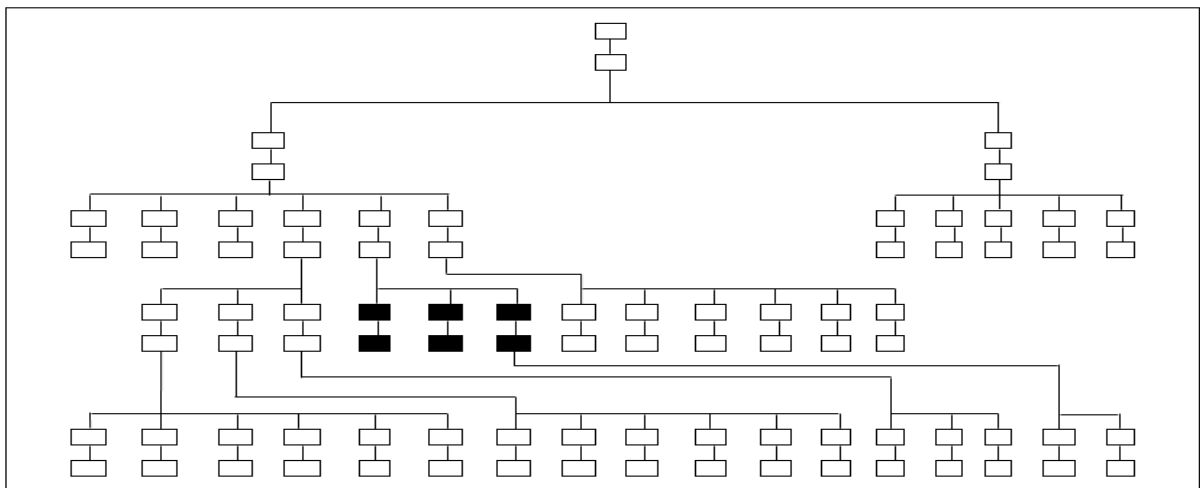
FR153= Bilgi akışındaki kayıpları yok et

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR143x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP143x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP151= Bütünleştirilmiş ve standartlaştırılmış yazılım

DP152= Bilgi akışını sağlama prosedürü

DP153= Bilgi işlem FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi)



Şekil 7.37 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR15n – DP15n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR151} \\ \text{FR152} \\ \text{FR153} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} \\ \text{X X} \\ \text{X X X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP151} \\ \text{DP152} \\ \text{DP153} \end{pmatrix} \quad (7.18)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Tedarikçiler ve müşteriler ile ortak yazılımı doğru kullan:

Döngüsel sefer ve otomatik malzeme taşıma makinesi sistem entegrasyonunu yöneten merkezin koordinasyonu ile akışı takip ettiği ve yönlendirdiği yazılımın müşterilerle ve tedarikçilerle ortak olmasının sağlanması ile aynı veri tabanı üzerinden sağlıklı ve hızlı bilgi akışı sağlanabilmektedir. Ayrıca ortak yazılımın tüm kullanıcılar tarafından aynı kullanım dili ve aynı bakış açısıyla kullanılmasının sağlanması anlaşmazlıkları ve farklılıkları ortadan kaldıracaktır.

Zamanında bilgi akışını sağla:

Ortak yazılımın etkin ve doğru biçimde kullanılmasının sağlanmasından sonra taşıma performansını direkt olarak etkileyecek olan bilgi akışının zamanlamasının iyi ayarlanması gerekmektedir. Çünkü bilginin diğer ilgililere gerektiğinden daha geç ulaşması neticesinde planlamadan sapmalar meydana gelebilmekte, geri dönüşler zamanında dikkate alınamamakta ve süreç akışıyla beraber koordinasyonda hatalar meydana gelmektedir.

Bilgi akışındaki kayıpları yok et:

Bilgi akışı ve onu sağlayan yazılım sistemi başarılı bir sevkiyat sürecinin temelini teşkil ettiğinden dolayı bu süreç içinde meydana gelen hatalar önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle bilgi akışı sürecinin sürekli olarak kontrol edilmesi, eksik ve hatalı noktalarının bulunması ve bunların gerekli iyileştirmeye tabi tutulması önemli faydalar sağlayacaktır. Daha yalın bir bilgi akışı sistemi yüksek koordinasyonu ve hızı da beraberinde getirecektir.

FR153'ün Ayırıştırılması:

“Bilgi akışındaki kayıpları yok et” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR153) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP153 (Bilgi işlem FMEA) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır (Şekil 7.38).

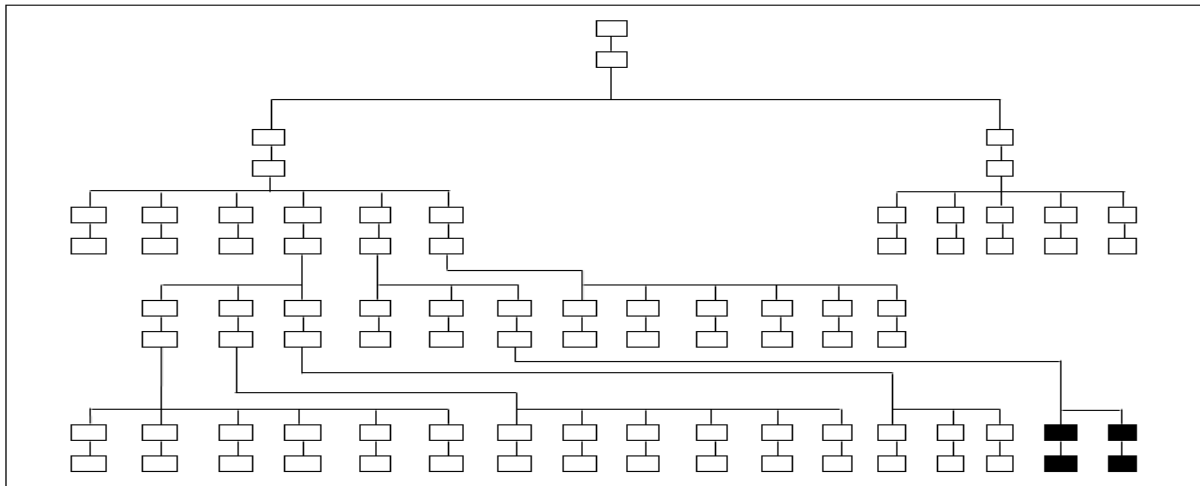
FR1531= Hata nedenlerini ve sıklığını belirle

FR1532= Değer katmayan süreç analizi yap

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR153x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP153x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP1531= Uygunsuzluk takip çizelgesi

DP1532= Değer akışı analizi



Şekil 7.38 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR153n – DP153n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR1531} \\ \text{FR1532} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ X & X \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP1531} \\ \text{DP1532} \end{pmatrix} \quad (7.19)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Hata nedenlerini ve sıklığını belirle:

Yalın bilgi akış sisteminin sağlanabilmesi için bilgi akışı yapısının sürekli olarak kontrol edilmesi ve hataların nedenlerinin eliminasyonu gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesindeki ilk adım da süreç hata analizi yaparak hata nedenlerinin ve sıklığının belirlenmesidir.

Değer katmayan süreç analizi yap:

Hataların nedenlerinin ve sıklığının belirlenmesinden sonra, ilgili verilerin değer akışı haritası üzerinde değerlendirilmesi, gelecek durum haritasının planlanmasını sağlayacaktır. Ayrıca sürecin bir bütün olarak değerlendirilmesini ve hataların etki ve kaynak noktalarının da rahatlıkla gözlemlenebilmesini sağlayacaktır.

FR16'nın Ayrıştırılması:

“Sürekli, düzgün, hatasız ve hasarsız malzeme akışını sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR16) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP16 (optimize edilmiş malzeme akışı) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır (Şekil 7.39).

FR161= En az sevkiyatla en yüksek taşıma hacmini sağla

FR162= Makinelerin ve taşıma araçlarının boş kalmalarını en aza indir

FR163= Doğru ve etkin teslimatı sağla

FR164= Taşıma hasarlanmalarını yok et

FR165= Taşıma entegrasyonunu üretimi aksatmayacak şekilde optimize et

FR166= Malzeme besleme ve teslim alma koşullarını iyileştir

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR16x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP16x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP161= Taşıma verimlilik analizleri

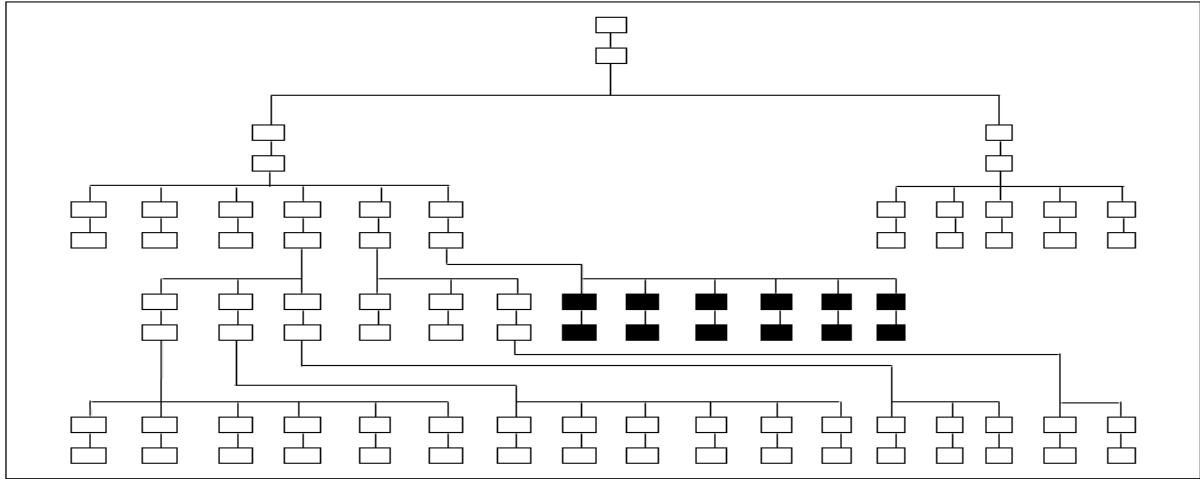
DP162= Görsel panoları uygulamaya alma prosedürü

DP163= Süreç verimlilik analizleri

DP164= Geliştirilen taşıma koşulları

DP165= İntermodal taşımacılıkta kayıpları azaltma ve önleme prosedürü

DP166= Malzeme besleme ve teslim alma talimatları



Şekil 7.39 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR16n – DP16n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR161} \\ \text{FR162} \\ \text{FR163} \\ \text{FR164} \\ \text{FR165} \\ \text{FR166} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} \\ \text{X X} \\ \text{X X X} \\ \text{X X X X} \\ \text{X X X X X} \\ \text{X X X X X X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP161} \\ \text{DP162} \\ \text{DP163} \\ \text{DP164} \\ \text{DP165} \\ \text{DP166} \end{pmatrix} \quad (7.20)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

En az sevkiyatla en yüksek taşıma hacmini sağla:

Taşıma verimlilik analizleri ile sevkiyat sayısını azaltmak suretiyle taşıma hacmini arttırmak mümkündür. Bu da sefer başına en yüksek sayıda taşıma hacmini transfer ederek sağlanabilmektedir. Kısa trenlerin vagon sayıları ve hacim kapasiteleri, otomatik malzeme taşıma makinesi taşıma kapasiteleri bu bölüm altında incelenerek tespit edilmelidir.

Makinelerin ve taşıma araçlarının boş kalmalarını en aza indir:

Üretim yoğunluğunun düşük olmasına bağlı olarak zaman zaman boş kalmalar söz konusu olabilir ancak kapasite dahilindeki imkanların verimli bir şekilde kullanılabilmesi için özellikle yoğun dönemlerde ekipmanların boş kalmaması gerekmektedir. Görsel panoları uygulamaya alma prosedürü ile malzemeye ihtiyaç duyan makinelerin işlem süresinin tamamlanmasından önce kısa trenler ile görsel olarak iletişime geçmeleri mümkün olacaktır.

Doğru ve etkin teslimatı sağla:

Hatasız ve hızlı bir şekilde teslimatların yapılabilmesini mümkün kılabilmek için süreç verimlilik analizleri yapılmalıdır. Söz konusu çalışma ile üretim süreci ve operasyonel işleyiş detaylarıyla analiz edilerek doğru ve etkin teslimata engel olabilecek durumlar tespit edilmeli ve gerekli aksiyonlar alınarak iyileştirmeler sağlanmalıdır.

Taşıma hasarlanmalarını yok et:

El arabası ile taşıma yapılan manuel işlemlerde taşımadan kaynaklanan hasarlanmalara dair geçmiş bir veri mevcuttur. Bu verilerden yararlanarak ve geçilecek yeni taşıma yönteminin başka firmalar ile benchmarking yapılarak sebep olabileceği hasarlanmaları tespit ederek gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır. Taşıma koşullarının iyileştirilmesi hasarlanmaları yok etmekte en etkin çözüm olacaktır. Malzemeleri en az elleçleme ve dış koşullardan en yüksek muhafaza ile taşıma koşulları iyileştirildiğinde taşıma kaynaklı hasarlanmaların azalması mümkün olacaktır.

Taşıma entegrasyonunu üretimi aksatmayacak şekilde optimize et:

Üretim ortamındaki malzemelerin genel akış durumu özetle şu şekildedir: üretim makinesi – kısa tren – otomatik malzeme taşıma makinesi – kısa tren – üretim makinesi. Malzemeler her ne kadar taşıma süresinin çoğunu kısa tren içerisinde veya otomatik malzeme taşıma makinesi içerisinde geçirse de malzemelerin bir noktadan diğerine geçişini de hızlı, etkin, verimli, hasarsız ve doğru bir şekilde yönetmek üretimin aksamaması için elzemdir. İntermodal taşımacılıkta kayıpları azaltma ve önleme prosedürü bu tarz sorunlara doğru çözümler öneren bir yaklaşım metodudur. Bu nedenle taşıma entegrasyonunun üretimi aksatmayacak şekilde kurgulanması için bu yaklaşım metodundan faydalanılacaktır.

Malzeme besleme ve teslim alma koşullarını iyileştir:

Sürekli, düzgün, hatasız ve hasarsız malzeme akışını sağla isimli üst tasarım adımının son alt tasarım adımı bu madde olup söz konusu alt tasarımlar birbiri ile etkileşim halinde olan tasarımlardır. Diğer alt tasarım adımları yerine getirildiğinde bu tasarım adımı için de çoğu aksiyon alınmış olacaktır. Malzeme besleme ve teslim alma talimatları, görsel panolar ve poke yoke uygulamaları ile söz konusu koşulların iyileştirilmesi mümkündür.

FR2'nin Ayırıştırılması:

“Üretim lojistiğindeki akışı sağla” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR2) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP2 (Organize edilmiş taşıma sistemi) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayırıştırılmıştır (Şekil 7.40).

FR21= Her istasyona hizmet verecek kapasite, vagon sayısı ve kısa tren sayılarını belirle

FR22= Üretim istasyonları arasındaki malzeme taşıma trafiğini belirle

FR23= Taşıma sıklığı ile ürün talebini göz önüne alarak istasyonları büyükten küçüğe sırala

FR24= Kısa trenlerin istasyonlardaki makineleri ulaşımındaki muhtemel rotaları belirle

FR25= Geliştirilen sistemi standart hale getir

Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR2x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP2x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

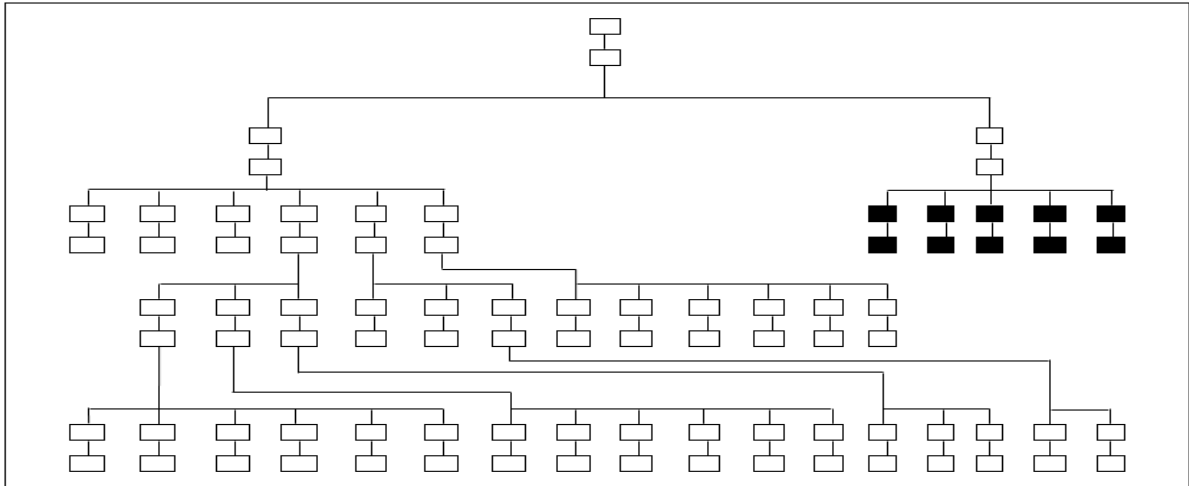
DP21= Simülasyon yardımıyla iş yükü analizi

DP22= Makineler arası taşıma sıklığı matrisi

DP23= Taşıma ve talep yükü analizi

DP24= Toplam mesafeyi en aza indiren sezgisel bir model

DP25= İç lojistik operasyon talimatı



Şekil 7.40 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması (FR2n – DP2n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR21} \\ \text{FR22} \\ \text{FR23} \\ \text{FR24} \\ \text{FR25} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & & & & \\ & \text{X} & \text{X} & & \\ & & \text{X} & \text{X} & \text{X} \\ & & & \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} \\ & & & & \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP21} \\ \text{DP22} \\ \text{DP23} \\ \text{DP24} \\ \text{DP25} \end{pmatrix} \quad (7.21)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Her istasyona hizmet verecek kapasite, vagon sayısı ve kısa tren sayılarını belirle:

Bir vagonun taşıma kapasitesi, bir el arabasının taşıma kapasitesi ile aynı olacak şekilde belirlenmiştir. Söz konusu kapasiteler boruların taşıma esnasında zarar görmeyecek şekilde önceki tecrübeler ve uygulamalar yardımıyla belirlenmiş olup bir vagon toplamda 500 metre uzunluğuna denk gelen boru taşıyabilmektedir. Bir kısa trende kaç vagon olacağı ise simülasyon yardımıyla belirlenmiştir. Mevcut makine yerleşim düzeni el arabası ile taşımalara göre tasarlanmış olup yerleşim düzeninde değişiklik yapılması mümkün olmadığından vagon sayısı ile rotaların uygunluğunu karşılaştırmak için firma bünyesinde yer alan Tecnomatix simülasyon programı ile bir çalışma yapılmış olup sonuçlar Çizelge 7. 11'deki gibidir.

Çizelge 7. 11 Vagon Sayısı – Güzergâh Kullanım Oranı Simülasyon Sonuçları (Tecnomatix Simülasyon Programı)

Kısa Tren Vagon Sayısı	Güzergâh Kullanım Oranı
1 Vagon	%100
2 Vagon	%93
3 Vagon	%86
4 Vagon	%60
5 Vagon	%25
5+ Vagon	%0

Amaç en az sefer sayısı ile en fazla sayıda malzemeyi transfer etmek olduğundan vagon sayısının artması işletmenin lehinedir ancak el arabası ile taşımaya göre tasarlanmış yerleşim düzeni mümkün güzergahları sınırlandırmaktadır. Çizelge 7. 10 sonuçlarına göre 3 vagon sayısı ile çalışmak güzergahların %86'sı ile çalışmaya elverişli olduğundan tercih edilmiştir. 4 vagon sayısı ile çalışmak güzergahların %40'ının kullanılamaması sebebiyle taşıma operasyonlarını aksatacağından tercih edilmemiştir. Vagon hacmi ve vagon sayısı belirlendikten sonra son olarak bu kısımda kısa tren sayıları belirlenecektir. Şekil 7.1'de her istasyona kaç el arabasının (Boru Taşıma Aracı – BTA) hizmet vereceği bilgisi yer almaktadır. Kapasitesi bir el arabasına eşit olan vagonlardan 3 tanesi bir kısa trende yer alacağından her istasyona Şekil 7.1'deki el arabası sayılarının 1/3'ü kadar kısa tren tahsis edilmesi uygun görülmüştür.

Üretim istasyonları arasındaki malzeme taşıma trafiğini belirle:

Üretim ortamında 5 farklı istasyon mevcuttur ve her istasyonda 8 ile 30 arasında makine mevcuttur. Taşımaların en çok hangi istasyonlar arasında yoğunlaştığını ve yoğunluğun hacmini belirleyebilmek için makineler arası taşıma sıklığı matrisi oluşturulmalıdır. Oluşturulan bu matris taşımaların yeniden organize edilmesinde bir politika belirlemek amacıyla kullanılacaktır.

Taşıma sıklığı ile ürün talebini göz önüne alarak istasyonları büyükten küçüğe sırala:

Bir önceki tasarım adımında makineler arası taşıma trafiği ve hacimleri belirledikten sonra hacimce büyükten küçüğe doğru bir sıralama yapılır. Taşıma ve talep yükü analizi ile sıralama yapıldıktan sonra elde edilen veriler bir sonraki tasarım adımında kullanılmaya hazır hale gelecektir.

Kısa trenlerin istasyonlardaki makineleri ulaşımındaki muhtemel rotaları belirle:

Her istasyona hizmet verecek kısa tren sayıları belirlendikten sonra muhtemel rotalar bu tasarım adımında belirlenir. Toplam mesafeyi en aza indiren sezgisel bir model ile rut optimizasyonu otomatik olarak her kısa tren yola çıkarken yapılabilir. Kısa trenler hangi makinelere uğrama yapacaksa gideceği mesafeyi en aza indirmek için rut optimizasyonu otomatik çalışır ve kısa trenin navigasyon cihazı vasıtasıyla sürücüyü yönlendirir. RFID Teknolojisinin Tedarik Zinciri Yönetimine Katkıları konulu yüksek lisans tezinde, gelen siparişleri toplayacak taşıma aracının bir depo ortamında mümkün olduğunca kısa mesafe dolaşarak bu işlemi gerçekleştirmek için sezgisel bir model ortaya konmuştur [74]. Tedarik zincirinde büyük ölçekli ürün takibinde RFID uyarlaması makalesinde de depo içi taşımalar sezgisel bir model ile minimize edilmeye çalışılmıştır [75].

Kısa trenler ile otomatik malzeme taşıma makinesi arasındaki parça hareketlerini standart hale getir:

İç lojistik operasyon talimatı ile her seferde geçerli olmak üzere parça hareketlerini aynı şekilde yapılması bu tasarım adımında sağlanır. Parça hareketleri standardına uygun şekilde sağlanırsa ve talimatlar görsel öğelerle beslenmiş olarak anlaşılır olarak hazırlanırsa söz konusu operasyonlar işlerin yoğun olduğu dönemde birer dar boğaz olarak sorun teşkil etmemiş olurlar.

7. 6 Aksiyomlarla Tasarım İlkelerine Göre Performans Geliştirme Prosedürü

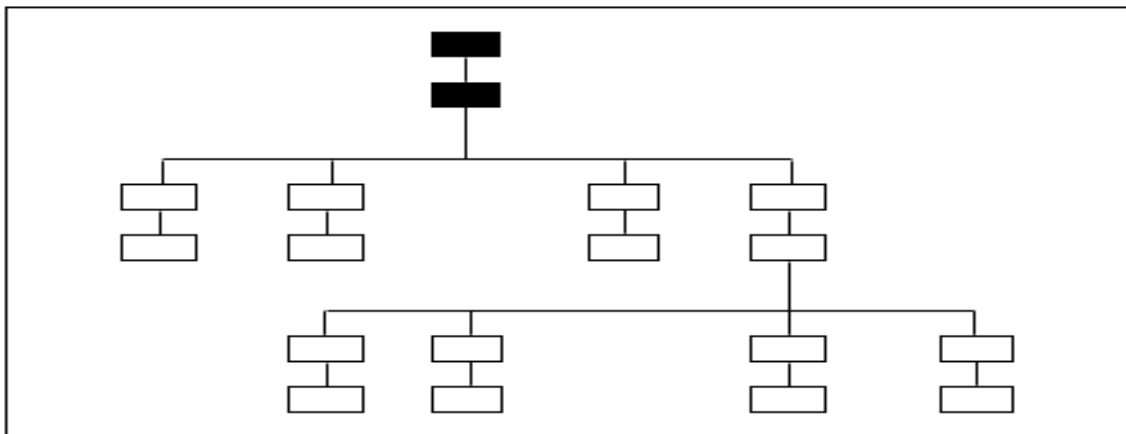
Günümüzün artan rekabet ortamında firmaların başarılı olabilmek için hedefler koymas ve bu hedeflere ulaşmak için gerekli çabayı göstermesi gerekmektedir. Bu çerçevede yalın lojistik sistemine sahip firmaların sisteme özgü performans hedeflerini belirlemeleri ve bunları başarmaya yönelik sistemlerini sürekli geliştirmeleri kaçınılmazdır. Özellikle de sayısal hedefler koyarak, ölçmek ve geliştirmek performansın geliştirilmesinde şarttır. Yalın lojistik sistemini müşteri istekleri doğrultusunda sürekli olarak geliştirmek isteyen bir tasarımcı en üst düzeydeki fonksiyonel ihtiyacı (FR) aşağıda belirtildiği gibi belirleyebilir:

FR1= Hedeflenen ile gerçekleşen durum arasındaki sapmayı azalt

Bir önceki adımda belirlenen fonksiyonel ihtiyaçlara (FRs) karşılık gelen tasarım parametreleri (DPs), fonksiyonel saha ile fiziksel saha arasında gerçekleştirilen haritalandırma işlemi ile seçilir. En uygun tasarım parametresini (DP) seçmek için, seçilen fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelebilecek tasarım parametresi ayrıntılı değerlendirme sonucunda belirlenmelidir. En üst seviyede belirlenen fonksiyonel ihtiyaca karşılık gelen tasarım parametresi aşağıda belirtildiği gibi seçilebilir (Şekil 7.41):

DP1= Sisteme ilişkin performansı geliştirme prosedürü

Performans gelişimine yönelik sistem düzenlemesi yapacak tasarımcılar için, AD ilkelerine göre hazırlanan bu prosedür ile tasarımcıyı hedeflerine ulaştıran çalışmalar sistematik bir yapıda sunulmuştur.



Şekil 7.41 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması (FR1 – DP1)

FR1'in Ayrıştırılması:

“Hedeflenen ile gerçekleşen durum arasındaki sapmayı azalt” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR1) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP1 (Sisteme ilişkin performansı geliştirme prosedürü) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır (Şekil 7.42).

FR11= Üretim makinelerinin esnekliğini artırır

FR12= Üretim makinelerinin arızalarını azalt

FR13= Otomatik malzeme taşıma makinesinin kesintisiz çalışmasını sağla

FR14= Talebe dayalı plan değişikliklerinde taşıma araçlarının ve rotalarının geçerliliğini sürdür

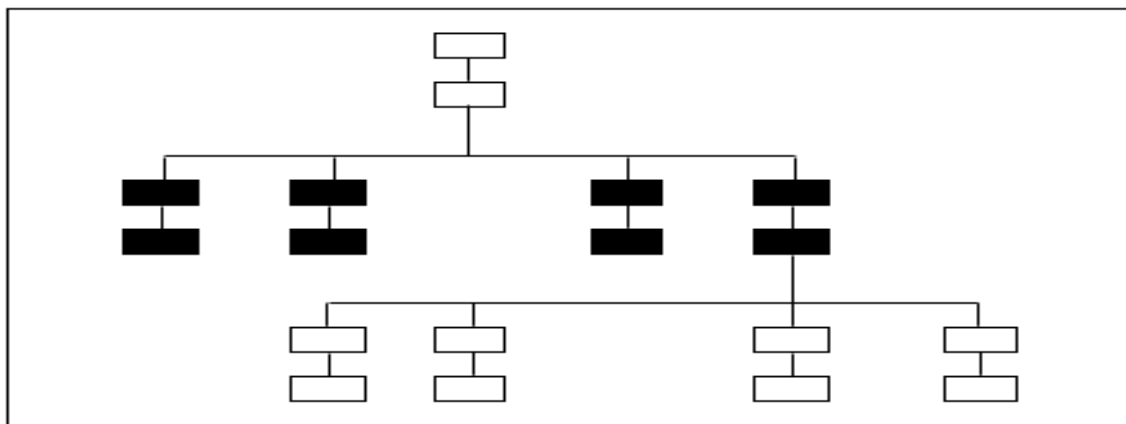
Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR1x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP1x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP11= SMED uygulamaları

DP12= Üretim makineleri için TPM (Toplam Üretken Bakım – Total Productivity Maintenance)

DP13= Otomatik malzeme taşıma makinesi için TPM

DP14= Hızlı tepki veren rotalama sistemleri



Şekil 7.42 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması (FR1n – DP1n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR11} \\ \text{FR12} \\ \text{FR13} \\ \text{FR14} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & & & \\ & \text{X} & \text{X} & \\ & \text{X} & \text{X} & \text{X} \\ & \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP11} \\ \text{DP12} \\ \text{DP13} \\ \text{DP14} \end{pmatrix} \quad (7.22)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

Üretim makinelerinin esnekliğini artır:

SMED uygulamaları ile üretim makinelerinin farklı ürün gruplarını üretmesini mümkün kılmak ve makinelerin farklı bir ürün grubunun üretimine geçerken gerekli hazırlık süresini azaltmak mümkündür. Müşterilerin ya da bizim örneğimizde ana sanayi firmalarının talepleri anlık değişebilmektedir bu duruma bir yalın felsefe bileşeni olan esnekliği arttırma ile yanıt verilebilir.

Üretim makinelerinin arızalarını azalt:

Üretim makineleri ve kısa trenlerin boş kalmalarına sebep olacak bir başka unsur da makine arızalarıdır. Makine arızaları üretim süresini uzatan, verimsizliğe yol açan ve müşteri memnuniyetini düşüren etkenlerdir. Ayrıca zincirleme olarak birçok ürün grubunun müşteriye olan teslimatlarını geciktirebilirler. Makineler için düzenli bir şekilde toplam üretken bakım faaliyeti yürütülerek makinelerin her zaman çalışabilir tutulması mümkündür. Makineleri arızalandığı zaman onarma anlayışı eskide kalan bir anlayış olup makineleri her daim üretime hazır kılmanın yolu bir yalın felsefe bileşeni olan toplam üretken bakımlardır.

Otomatik malzeme taşıma makinesinin kesintisiz çalışmasını sağla:

Makineleri esnek ve çalışabilir hale getirdikten sonra sıradaki konu taşımaların üretimi aksatmayacak şekilde sürdürülebilir halde tutmaktır. Otomatik malzeme taşıma makinesi bizim örneğimizde önemli bir yer işgal etmektedir. İstasyonlar arasındaki uzun mesafeler bu makine sayesinde hızlı ve hasarsız bir şekilde aşılabilmektedir. Bu nedenle otomatik malzeme taşıma makinesinin üretim devam ettikçe çalışabilir durumda olması çok önemlidir ve doğrudan üretim süresini etkilemektedir. Bu nedenle periyodik olarak toplam üretken bakım faaliyetinin otomatik malzeme taşıma makinesi için de sürdürülmesi gerekmektedir.

Talebe dayalı plan değişikliklerinde taşıma araçlarının geçerliliğini sürdür:

Uygulama örneğimizde üretilen nihai ürünler nerede ve ne amaçla kullanılabileceğine göre her istasyonda işlem görmemektedir. Bu nedenle müşteri talebindeki değişiklikler, hangi istasyonların faal kullanılacağını ve kaç taşıma aracının kullanılacağı gibi kararları doğrudan etkilemektedir. Hızlı tepki veren rotalama sistemleri ile değişikliklere anlık tepki veren ve her değişikliğe mevcut taşıma araçları ile çözüm üreten bir yapının kurgulanması bu tasarım adımının konusudur.

FR14'ün Ayrıştırılması:

“Talebe dayalı plan değişikliklerinde taşıma araçlarının ve rotalarının geçerliliğini sürdür” şeklinde ifade edilen fonksiyonel ihtiyaç (FR14) ile bu fonksiyonel ihtiyaca denk gelen DP14 (hızlı tepki veren rotalama sistemleri) birlikte değerlendirilerek aşağıdaki gibi ayrıştırılmıştır (Şekil 7.43).

FR141= İç lojistikteki dar boğazları gider

FR142= Yeni alternatif rota seçeneklerini sorgula

FR143= Ortaya çıkan verimsiz ve uygunsuz rota güzergahlarını yok et

FR144= Değişen rotalara göre otomasyonu geliştir

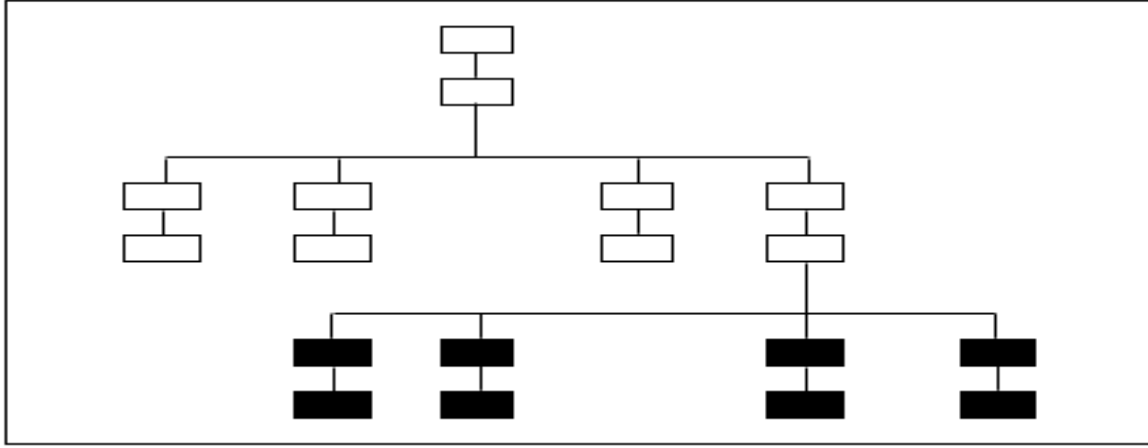
Fonksiyonel ihtiyaçlara (FR14x) karşılık gelen tasarım parametreleri (DP14x)'de aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

DP141= Güncellenen araç sayıları

DP142= Güncellenen rota güzergahları

DP143= Rota seçim prosedürü

DP144= Güncellenen yazılım sistemi



Şekil 7.43 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması (FR14n – DP14n)

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi ve ilgili tasarım eşitliği aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{pmatrix} \text{FR141} \\ \text{FR142} \\ \text{FR143} \\ \text{FR144} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ X & X \\ X & X & X \\ X & X & X & X \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{DP141} \\ \text{DP142} \\ \text{DP143} \\ \text{DP144} \end{pmatrix} \quad (7.23)$$

Tanımlanmış olan tasarım matrisi ayrılmış tasarım olduğundan bağımsızlık aksiyomuna uymaktadır. Tasarım matrisinde belirtilen X, fonksiyonel ihtiyaç ile buna karşılık gelen tasarım parametresi arasındaki kuvvetli ilişkiyi ifade etmektedir.

İç lojistikteki dar boğazları gider:

Üretimin bir bütün halinde aksamadan devam edebilmesi için malzeme taşıma hareketlerinin yavaşlamadan sürmesi gerekir. Üretim yoğunluğuna göre iç lojistikte dar boğazların oluşmaması için araç sayılarının yani bizim örneğimizde her istasyona hizmet verecek kısa tren sayılarının düzenli olarak gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çünkü herhangi bir günde aksamadan devam eden taşıma faaliyetleri gelen siparişin yapısından dolayı bir başka gün aksayabilir, siparişe göre kısa tren sayıları değerlendirilirse dar boğazlar oluşmayacaktır.

Yeni alternatif rota seçeneklerini sorgula:

Rota güzergahları taşıma süresine, taşıma süresi de doğrudan üretim süresine etki ettiği için rota seçeneklerinin düzenli olarak gözden geçirilmesi önemlidir. Belirlenmiş olan rota güzergahları siparişin yoğunluğunu kaldıramayacak noktaya gelirse ve taşıma sürelerinde artışlar gözlenirse alınacak olan aksiyonlarda geç kalınmış olunacağından rota güzergahlarının düzenli olarak gözden geçirilmesi ve alternatif rota güzergahlarının tespit edilmesi gelecekte taşıma sürelerini olumsuz etkileyen durumları ortadan kaldıracaktır.

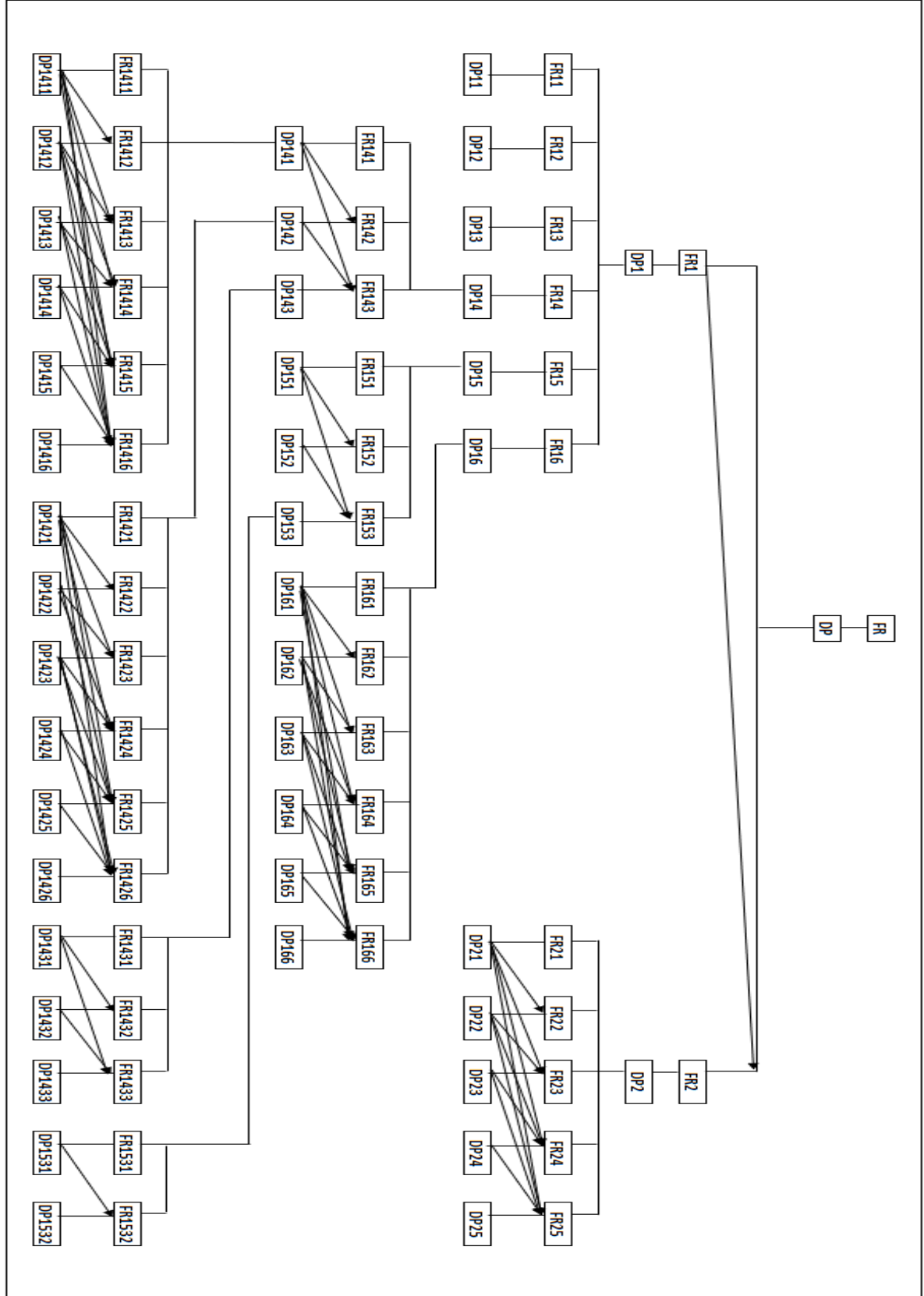
Ortaya çıkan verimsiz ve uygunsuz rota güzergahlarını yok et:

Uygulama örneğimizdeki mevcut yerleşim düzeni el arabası ile taşımaya göre tasarlandığından bazı rota güzergahları kısa tren için uygun olmayacaktır. Rota seçim prosedürü ile bu şekilde tespit edilen uygun olmayan veya fazla mesafe kat edildiği için verimsiz olan rota güzergahları kısa trenlerin navigasyonlarına yüklenmemesi gerekmektedir. Verimsiz ve uygunsuz rota güzergahları için mümkünse aksiyon alınmalı alınamıyorsa da bu tarz güzergahların verileri yazılım sisteminde tutularak kısa trenlerin bu güzergahlara yönlendirilmemesi sağlanmalıdır. Tecnomatix simülasyon programı, mevcut güzergahlardan hangilerinin kısa trene uygun olmadığı ile ilgili bilgi vermektedir. Uygun olmayan güzergahlar fiziki olarak test edildikten sonra yapılabiliyorsa uygun hale getirilmeli getirilemiyorsa bu güzergahlar navigasyon cihazlarının işletim sistemlerine kaydedilerek kısa trenlerin bu güzergahlara yönlendirilmesinin önüne geçilmelidir.

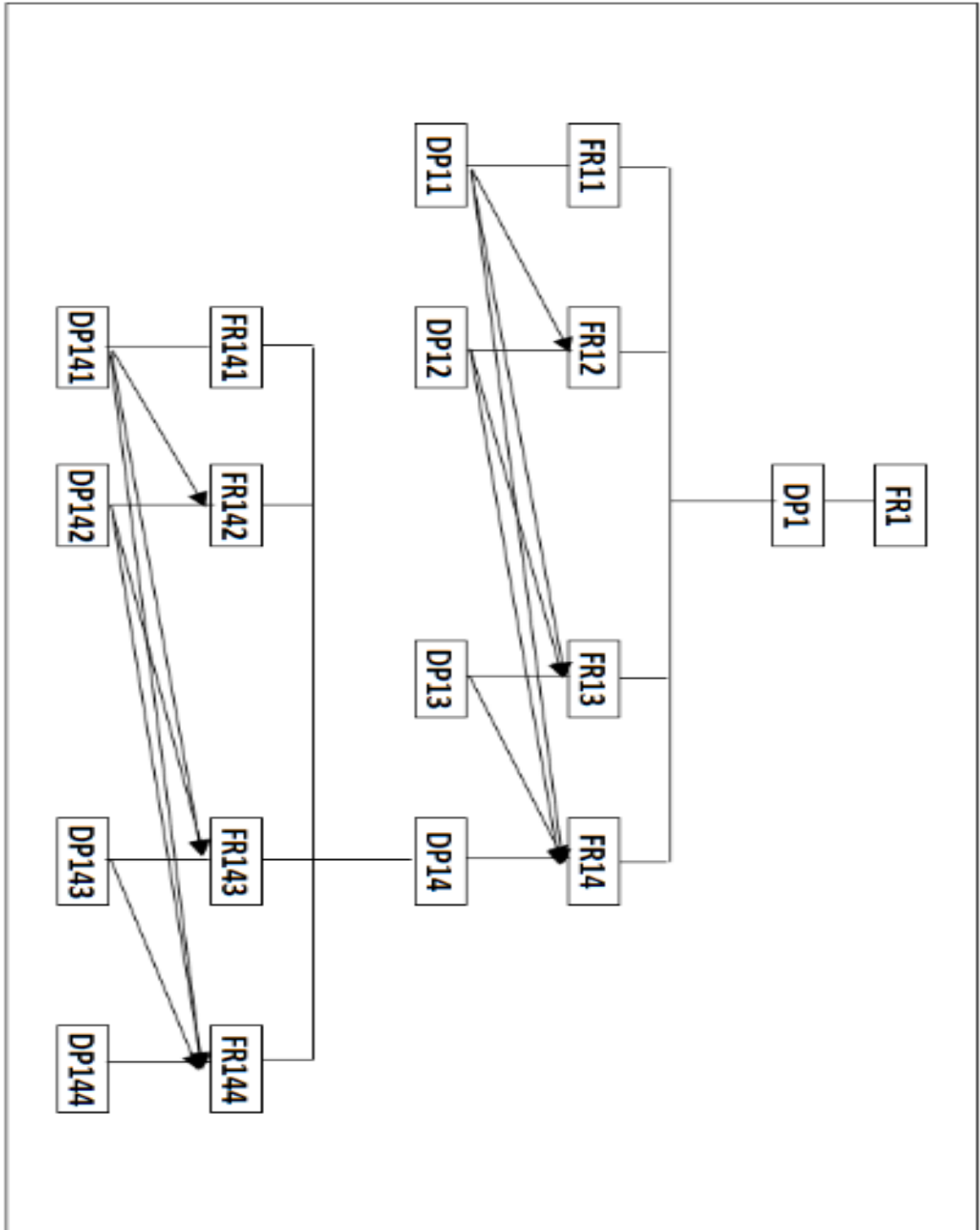
Değişen rotalara göre otomasyonu geliştir:

Güncellenen yazılım sistemi ile değişen, uygunsuzluğu ve verimsizliği tespit edilen ve yeni rota verilerine göre otomasyonun geliştirilmesi mümkündür. Geliştirilen ve öğrenen bir otomasyon sistemi kurgusu ile değişen koşullara göre araç yönlendirmeleri verimli bir şekilde yapılabilir.

Şekil 7.44’de yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması ve Şekil 7.45’de yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması gösterilmiştir.



Şekil 7.44 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) tabanlı sistem tasarımının ayrıştırılması



Şekil 7.45 Yalın iç lojistik (otomatik malzeme taşıma makinesi + döngüsel sefer) sisteminin performans geliştirme prosedürünün ayrıştırılması

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Toyota Motor Şirketinden Eiji Toyota ve Taiichi Ohno II. Dünya Savaşından sonra Japonya’da yalın üretime öncülük etmişlerdir. Japonya’nın kıt kaynaklara sahip olan coğrafyası ve buna karşın otomotivde müşterilerin talepkâr beklentileri yalın felsefenin doğuşunu sağlamıştır. Yalın üretim en az kaynakla, en az depolamayla, en kısa sürede, en uygun yöntemle, hatasız ve esnek bir şekilde üretim yapmaktır.

Günümüzün hızla değişen, belirsizliklerle boğuşan ve talepkar iş dünyasında değişen müşteri beklentileri ve acımasızlaşan rekabet, firmaları daha az maliyet ile daha çok fayda üretmek zorunda bırakmıştır. Bu sebeple firmalar geçmişte büyük yarar sağladıkları yalın felsefeyi sadece üretim için değil bir bütün olarak bütün süreçlerinde kullanmaya başlamışlardır. Yalın lojistik yalın felsefenin lojistik boyutudur. Yalın lojistik kavramı son yıllarda akademi ve iş dünyasında sıklıkla ele alınmaya başlanmıştır.

Yalın lojistik ile ilgili son yıllarda birçok makale, araştırma ve tez çalışması yapılmıştır. Lojistiğin boyutlarını gelen lojistik, giden lojistik, üretim lojistiği ve tersine lojistik olarak ele aldığımızda yapılan çalışmalar daha çok gelen lojistik ve giden lojistik ile ilgilidir. İç lojistik olarak da isimlendirilen üretim lojistiği ile ilgili literatürde yeterli sayıda denebilecek çalışma mevcut değildir.

Lojistik literatüründe iç lojistik ile ilgili çalışmalar ve iç lojistikte de aksiyomlarla tasarım yaklaşımı çalışmalarının az olduğu ve bu noktada bir açık olduğu görülmüştür. Tez çalışmamız bu noktadaki çalışma açığı göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Tez çalışması bir uygulama örneği ile zenginleştirilmiş ve bir otomotiv yan sanayi firmasında çalışma yürütülmüştür.

Tez çalışmamız toplam sekiz bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde tez çalışmasına giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümde yalın üretim sistemi incelenmiştir. Yalın üretimin tanımı ve tarihçesi bu bölümde açıklanmıştır. Daha sonra yalın üretim teknikleri detaylarıyla ortaya konulmuş ve üretimde israf kalemleri konusuna yer verilmiştir. Üçüncü bölümde yalın lojistik konusu incelenmiştir. Yalın lojistiğin amaçları, geleneksel lojistik anlayışından farkları ve iç lojistik konusu bağlamındaki fabrika içi malzeme taşıma sistemlerine, malzeme taşımanın amaç ve ilkelerine, malzeme taşıma sistemindeki performans göstergelerine, malzeme taşıma araç türlerine, malzeme taşımadaki yardımcı araçlara ve malzeme taşıma sistemi seçiminde rol oynayan kriterlere bu bölümde yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde iç lojistikteki hat besleme yöntemlerine değinilmiştir. Bu bölüm kapsamında sürekli tedarik, parti tipi besleme, sıralı üretim ve set şeklinde teslimat yöntemleri incelenmiştir. Beşinci bölümde iç lojistik sisteminin ana bileşenlerine ve literatür taramasına yer verilmiştir. Yalın lojistik ve döngüsel sefer taşıma sistemi incelendikten sonra iç lojistik kapsamında depolara ilişkin çalışmalar, malzeme taşıma araçlarına yönelik çalışmalar ve hücresel yerleşim düzeni, depo – hücre, hücre – hücre, hücre – depo arası malzeme akışlarına yönelik çalışmalar sırasıyla ele alınarak bölümün sonunda literatür çalışmalarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Altıncı bölümde yalın lojistikte aksiyomlarla tasarım metodolojisine ve literatür taramasına yer verilmiştir. Aksiyomlarla tasarım metodolojisi hakkında genel bilgi, bulanık mantık, bulanık aksiyomlarla tasarım, aksiyomlarla tasarım ve tasarımın uygulamasına bölümde sırasıyla yer verildikten sonra aksiyomlarla tasarıma ilişkin literatür matisi ortaya konulmuştur. Tez çalışmamız hem aksiyomlarla tasarım ile ilgili hem de iç lojistik ile ilgili olduğundan iki ayrı literatür taraması ortaya konulmuştur.

Yedinci bölüm uygulama çalışmasına yer verilen bölümdür. Uygulama çalışmasının yapıldığı firma hakkında bilgilendirme, en uygun taşıma yönteminin seçilebilmesi için bilgi aksiyomu uygulaması, en uygun taşıma yönteminin bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu ile belirlenmesi, yalın lojistik sisteminin bağımsızlık aksiyomu metodolojisi ile tasarımı, aksiyomlarla tasarım ilkelerine göre performans geliştirme prosedürü ortaya konulmuştur. Sekizince bölümde sonuç ve önerilere yer verilerek tez çalışmamız sonuçlandırılmıştır.

Üretimde manuel iç taşımanın yapıldığı uygulama çalışmasının yapıldığı firmaya teknik ziyaretler gerçekleştirilmiş ve mevcut taşıma yöntemine ilave olarak farklı taşıma yöntemleri ve taşıma yöntemlerinin değerlendirileceği kriterler geliştirilmiştir. Sonuç olarak dört taşıma yöntemi, yedi kritere göre bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımı ile değerlendirilmiş ve en uygun taşıma yöntemi belirlenmiştir.

Müşteri istekleri doğrultusunda en uygun taşıma yönteminin seçilmesi aşamasının gerçekleştirilmesinden sonra, yalın lojistik tabanlı sistemin tasarımı safhasına geçilmiştir. Mevcut taşıma yönteminden belirlenen taşıma yöntemine geçişte tasarımcılara rehber olacak ve değişim dönüşüm sürecini doğru bir şekilde yönetecek bağımsızlık aksiyomu çalışması yapılmıştır. Gerçekleştirilen yalın lojistik tabanlı sistemin tasarımı çalışmasında da aksiyomlarla tasarım yöntemi kullanılarak, tasarım sürecindeki fonksiyonel ihtiyaçlar arasında bağımsızlığın sağlanmasıyla sürecin verimli ve müşteri odaklı olması amaçlanmıştır.

Yalın iç lojistik tabanlı sistem tasarımı ortaya konulduktan sonra kurulan yapının etkin ve verimli yönetilmesini mümkün kılabilmek için yalın iç lojistik tabanlı performans geliştirme prosedürü ortaya konulmuştur. Ortaya konulmuş olan tasarımın müşteri beklentilerini karşılama seviyesini izlemek ve sistemin performansını ençoklamak için ilave olarak aksiyomlarla tasarım yöntemi ile performans geliştirme prosedürü çalışması yapılmıştır.

Yapılmış olan tasarım metodolojisi, yalın iç lojistik sisteminin tasarlanması için bilgi ve bağımsızlık aksiyomlarını beraber içermektedir. Bu yönü ile literatürdeki çalışmalardan ayrılmaktadır. Aksiyomlarla tasarım yaklaşımı iç lojistikte çok nadiren kullanılmıştır. İç lojistikte hem bilgi aksiyomunu; bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yöntemlerini içermesi bakımından hem de bağımsızlık aksiyomunu yalın iç lojistik tabanlı sistem tasarımı ve yalın iç lojistik sistemi performans geliştirme prosedürü ile yapılan bir çalışma olması bakımından tez çalışması literatüre çok yeni bir akış açısı kazandırmıştır ve benzer çalışmalardan ayrılmıştır.

Gelecekte tesis içi yerleşim planının döngüsel sefer sistemi ile bütünleştirilmesi, döngüsel sefer sisteminin stokastik bir yapı altında işletilmesi, hangi üretim sisteminin nasıl bir döngüsel sefer sistemine ihtiyaç duyduğunun uzman sistem ile belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılabilir. Ayrıca iç lojistikte aksiyomlarla tasarım noktasında açık olduğundan aksiyomlarla tasarım yaklaşımı iç lojistikte daha fazla alanda kullanılabilir.

Çalışmamızda olduğu gibi uygun yalın iç lojistik yönteminin belirlenmesinin yanı sıra aksiyomlarla tasarım yaklaşımı; uygun taşıma aracı seçimi, üretim ortamındaki depoların, üretim hatlarının ve hücrelerin lokasyonlarının belirlenmesi, hücre içi ve hücreler arası hareketlerin yapılandırılması ve hangi malzemenin nasıl taşınacağına belirlenmesinde kullanılabilir. Tez çalışmamızda önce bilgi aksiyomu metodolojisinin uygulanması ve uygun taşıma yönteminin belirlenmesinin ardından daha sonra bağımsızlık aksiyomu çalışmasının yürütülmesi tasarımı kısıtlayabileceğinden gelecekte yapılan çalışmalarda öncelik bağımsızlık aksiyomuna verilerek daha serbest tasarımların ortaya konulması mümkün olabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Womack, J.P. ve Jones, D.T., (1998). “Yalın Düşünce”, Sistem Yayıncılık, İstanbul.
- [2] Womack, J.P., Jones, D.T. ve Roos, D., (1990). The Machine That Changed The World, Rawson Associates, New York.
- [3] Katayama, H., (1996). “Lean Production in a Changing Computitive World: A Japanese Perspective”, MCB University Press, 16(2): 8-23.
- [4] Krafcik, F. J., (1988). “Triumph of The Lean Production System”, Sloan Management Review, 30(1): 41-52.
- [5] Womack, J. ve Shook J., (1999). Görmeyi Öğrenmek, The Lean Enterprise Institute, Massachusetts.
- [6] Utaş, T., (2001). Yalın Üretimde Toplam Verimli Yönetim ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [7] Yao, J., Andrew, C., Carlson, G. ve John H., (2003). “Agility and Mixed-Model Furniture Production”, International Journal of Production Economics, 81-82: 95-102.
- [8] Ohno, T., (1996). Toyota Ruhu, Scala Yayıncılık, İstanbul.
- [9] Okur, A., (2005), Yalın Üretim, 2.b., Söz Yayın, İstanbul.
- [10] Shingo, S., (1988). A Revolution in Manufacturing – The SMED System, Productivity Press, Cambridge.
- [11] Ardıç, K. ve Yıldız, G., (2011). Japon İşletmecilik Uygulamaları Türk İşletme Yönetimine Bir Model Olabilir mi?, Mimar ve Mühendis Dergisi, 12: 6.
- [12] Tokol, A., (2004). Yeni teknolojiler ve değişen endüstri ilişkileri, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

- [13] Akçagün, E., (2006). Hazır Giyim İşletmelerinde Yalın Üretim Tekniklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [14] Aydın, H., (2009). Yalın Üretim Sistemi, Değer Akış Haritalama Yöntemi ve Yalın Üretim Sisteminin Çalışanlara Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [15] Özçelikel, H., (1994). Japon Üretim Sistemleri, MESS Eğitim Vakfı Yayını, No: 177, İstanbul.
- [16] Muris, L. ve Moacir, G., (2010). Variations Of The Kanban System: Literature Review And Classification, International Journal of Production Economics 125(1), 13-21.
- [17] Halevi, G., (2001). Handbook of Production Management Methods, Oxford, 109-110, 199-200.
- [18] Gecü, B., (2008). İç Lojistik Sistemlerinin Yalın Üretim Bakış Açısıyla Yeniden Tasarlanması ve Otomotiv Sektöründe Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [19] Choosing Which Process Improvement Methodology to Implement, <http://na-businesspress.homestead.com/JABE/Jabe105/GershonWeb.pdf>, Erişim tarihi: 12 Nisan 2013.
- [20] Schonberger, R.J., (1982). Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons In Simplicity, The Free Press, Newyork.
- [21] Özgürler, Ş., (2007). Değer Akış Haritalandırma ve CONWIP Sistemine Yönelik Bir Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [22] Harrison, A., (1992). “Just in Time Manufacturing in Perspective”, Prentice Hall Inc. (UK).
- [23] Miyauchi, I., (1999). Japonya’da Kalite Yönetimi, MESS Yayınları, No:31.
- [24] Bozkurt, R., (2003). Kalite Çemberleri, Milli Prodüktivite Merkezi, Ankara.
- [25] Sigma Center Kalite ve Verimlilik Yönetimi Danışmanlığı, <http://www.sigmacenter.com.tr/danismanlik/5s-isyeri-organizasyonu.html>, 3 Ekim 2014.
- [26] Toplam Kalite Yönetiminin Yürütülmesinde Önemli Bir Araç: Kalite Çemberleri, http://www.politics.ankara.edu.tr/dergi/pdf/53/1/5_ozden_bayazit.pdf, 21 Ocak 2016.
- [27] Kocaeli Üniversitesi, Yalın Üretim Sistemleri Projesi, www.kocaeli.edu.tr, 15 Mart 2003.
- [28] Aygün, E., (1995). Yalın Üretim, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

- [29] Bayou, M.E. ve Korvin, A., (2008). “Measuring the Leanness of Manufacturing Systems”, University of Houston Downtown, Houston, United States.
- [30] Kılıç, H.S., (2011). Yalın Üretim Ortamında İç Lojistik Sisteminin Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [31] Özdağoğlu, A., (2003). Materyal Aktarma Sistemlerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [32] Sol, E., (2010). Set Şeklinde Teslimat ile Hat Kenarı Besleme Sisteminin Karşılaştırılması, Yalın Lojistik Bakış Açısıyla İç Lojistik Faaliyetlerinin Tasarlanması ve Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [33] Baudin, M., (2004). Lean logistics: The Nuts And Bolts of Delivering Materials and Goods, Productivity Press, New York.
- [34] Lai, K. ve Cheng, T., (2009). Just-in-Time Logistics, Gower Publishing Limited, England.
- [35] MHI Tedarik Zinciri Danışmanlığı, <http://www.mhia.org/learning/glossary>, 04 Ekim 2013.
- [36] Green, J.C., Lee, J. ve Kozman T. A., (2010). Managing lean manufacturing in material handling operations, International Journal of Production Research, 48, 2975-2993.
- [37] Chase, R.B., Aquilano, N.J. ve Jacobs, F.R., (1998). Production and Operations Management-Manufacturing and Services, Irwin McGraw-Hill, USA.
- [38] Aksoy, H., (2004). “Dinamik Sistemlerde Bulanık Mantık Metodu ve Örnek Olarak Hisse Senedi Piyasasının Modellenmesi”, Koç Portföy Yönetimi.
- [39] Russel, S. ve Norvig P., (2003). Artificial Intelligence, A Modern Approach, 2nd Edition, Prentice Hall.
- [40] Şen, Z., (2001). Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- [41] Öndemir, Ö., (2004). Hata Türü ve Etkilerinin Bulanık Kümeler Yaklaşımıyla Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [42] Elmas, Ç., (2003). Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [43] Yılmaz, M. ve Arslan E., (2005). “Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri Stb Komisyonu- İTÜ.
- [44] Makropoulos, C. K. ve Butler D., (2006). “Spatial Ordered Weighted Averaging: Incorporating Spatially Variable Attitude Towards Risk in Spatial Multi-Criteria Decision-Making”, Environmental Modelling & Software, 21(1):69-84.

- [45] Klir, G.J. ve Yuan, B., (1995). “Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Application.” Upper Saddle River, Prentice-Hall, New Jersey.
- [46] Ross, T.J., (1995). Fuzzy Logic With Engineering Applications, McGraw-Hill, Inc., New York.
- [47] Liu, X., Wang ,W., Chai, T. ve Liu, W., (2007). “Approaches To The Representations And Logic Operations of Fuzzy Concepts in The Framework of Axiomatic Fuzzy Set Theory II” Information Sciences, 177: 1027- 1045.
- [48] Kulak, O., Durmuşoğlu, B. ve Kahraman, C., (2005). “Fuzzy Multi-Attribute Equipment Based on Information Axiom”, Journal of Material Processing Technology, 169: 337-345.
- [49] Kulak, O. ve Kahraman, C., (2005a). “Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design And Analytic Hierarchy Process”, Information Sciences, 170: 191-210.
- [50] Kulak, O. ve Kahraman, C., (2005b). “Multi-Attribute Comparison of Advanced Manufacturing Systems Using Fuzzy vs. Crisp Axiomatic Design Approach”, International Journal Production Economics, 95: 415-424.
- [51] Çelik, M., Kahraman, C., Cebi, S. ve Er, I.D., (2007). “Fuzzy Axiomatic Design-Based Performance Evaluation Model For Docking Facilities in Shipbuilding Industry: The Case Of Turkish Shipyards”, Expert Systems with Applications, In Press, Corrected Proof, 2007, s:1-17.
- [52] Özel, B. ve Özyörük B., (2007). “Bulanık Aksiyomatik Tasarım ile Tedarikçi Firma Seçimi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 22(3): 415-423.
- [53] Suh, N.P. (1990)., “The Principles of Design”, Oxford University Pres, New York.
- [54] Engelhardt, F. ve Nordlund, M., (2000). “Strategic Planning Based on Axiomatic Design”, The 1st International Conjerence on Axiomatic Design, Cambridge, MA, June 21-23.
- [55] Hu, M., Yang, K., ve Taguchi, S., (2004). Enhancing Robust Design With The Aid of TRIZ And Axiomatic Design (Part I).
- [56] Martin, S.B. ve Kar, A.K., (2001). Developing E-Commerce Strategies Based on Axiomatic Design, Marmara University, Faculty of Engineering.
- [57] Dhillon, B.S., (2002). Engineering and Technology Management Tools and Applications. Artech House, Boston.
- [58] Doğan, Ö.İ., (2005). “Kalite Uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt No:2, Sayı No:1.

- [59] Cavalucci, D. ve Lutz, P., (2000). "Intuitive Design Method (IDM), A New Approach on Design Methods Integration", Proceeding of ICAD2000: First International Conference on Axiomatic Design, Cambridge, MA, June 21-23.
- [60] Kurniawan, S.H., Zhang, M. ve Tseng, M.M., (2004). "Connecting Customers in Axiomatic Design", The 3rd International Conference On Axiomatic Design, Seoul, June 21-24.
- [61] Tate D. ve Nordlund M., (1996). "A Design Process Roadmap as a General Tool for Structuring and Supporting Design Activities", Proceedings of the Second World Conference on Integrated Design and Process Technology (IDPT-Vol. 3), Society for Design and Process Science, Austin, TX, pp. 97- 104, Dec. 1-4.
- [62] Hirani, H. ve Suh, N.P., (2005). "Journal Bearing Design Using Multiobjective Genetic Algorithm and Axiomatic Design Approaches", Tribology International, 38: 481–491.
- [63] Yi, J.W. ve Park, G.J., (2005). "Development of a Design System For EPS Cushioning Package of a Monitor Using Axiomatic Design", Advances in Engineering Software 36: 285.
- [64] Houshmand, M. ve Jamshidnezhad, B., (2005). "An Extended Model of Design Process of Lean Production Systems by Means of Process Variables", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22:1–1.
- [65] Suh, N.P., (1995). "Design And Operation of Large Systems", Journal of Manufacturing Systems, 14(3): 203-213.
- [66] Suh, N.P., (1997). "Design of Systems", Annals of CIRP, 46(1): 75-80.
- [67] Suh, N.P., (2001). Axiomatic Design: Advances and Applications, Oxford University Press, New York.
- [68] El-Haik, B.S. ve Yang, K., (1999). "The Components of Complexity in Engineering Design", IEE Transactions, 31, 925-934.
- [69] Durmuşoğlu, B. ve Kulak, O., (2004). "Aksiyomlarla Tasarım İlkelerine Göre Takım Çalışması Esaslı Ofis Hücrelerinin Planlanması ve Uygulanması", Endüstri Mühendisliği, Sayı 1.
- [70] Baxter, J.E., McKay, A., Agouridas, V. ve Pennington, A. (2002). "Supply Chain Design: An Application of Axiomatic Design", The 2nd International Conference on Axiomatic Design. Cambridge June 10-11.
- [71] Suh, N.P. ve Kim, S.J., (1991). "Design of Software System Based on Axiomatic Design", Annals of The CIRP, USA, 40(1): 165-170.
- [72] Jang, R.S., Yang, Y.S., Song, Y.S., Yeun, Y.S., ve Do, S.H., (2001). "Axiomatic Design Approach For Marine Design Problems", Marine Structures, USA, 15: 35-56.

- [73] Kurtcan E., (2009). Yalın Lojistik Tabanlı Sistemin Bağımsızlık ve Bilgi Aksiyomları Kullanılarak Tasarlanması ve Bir Firma Uygulaması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [74] Ateş O., (2012). RFID Teknolojisinin Tedarik Zinciri Yönetimine Katkıları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [75] Ko, M., J., Kwak, C., Cho, Y. ve Kim, C. (2011). “Adaptive Product Tracking in RFID Enabled Large-Scale Supply Chain”, Expert System With Application, 38: 1583-1650.



İÇ LOJİSTİK LİTERATÜR MATRİSİ

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Tang ve Chew (1997)	☒			Hacimli siparişlerdeki küçük parçaların manuel şekilde toplanmasına ilişkin depo atama ve yığılma stratejileri incelenmiştir.	Benzetim
Daniels ve diğ. (1998)	☒			Depodaki sipariş toplama sistemlerinde eşzamanlı olarak atamalara karar veren ve kararların sıralamasını sağlayan bir modelleme	Gezgin satıcı ve tabu araştırma algoritması
Rao ve Rao (1998)	☒			Depo ekonomik boyutunun belirlenmesi	Dinamik Programlama
Berg ve Zjim (1999)	☒			Depolama sistemlerinin incelenmesi ve depo yönetim problemine ilişkin referans sınıflandırmanın yapılması	Kavramsal modelleme
Chew ve Tang (1999)	☒			Dikdörtgen depo sistemlerinde genel nesne yerleşim atamalı gezgin zaman modeli sunularak depo atama ve sipariş stratejileri analizi	Kuyruk modeli ve benzetim
Rouwen Horst ve diğ. (2000)	☒			Depo tasarımı ve kontrol problemlerine ilişkin referans bir sınıflandırma yapılması	Kavramsal Modelleme

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Braglia ve diğ. (2001)		☒		Hücresel üretimde uygun malzeme taşıma araçlarının seçilmesi	Analitik hiyerarşi süreci ve nihai tamsayılı doğrusal programlama
Brauner ve Finke (2001)		☒		Taşınan bir malzemenin üretim hızını optimize eden robot hareketlerinin tanımlanması	Önermelerden yola çıkılarak yapılan ispatlamalar
Roodbergen ve Koster (2001)	☒			Paralel koridorlu bir depoda sipariş toplama sürecinin en küçüklenmesi	Simülasyon
Kim ve Kim (2002)	☒	☒		Konteyner taşımacılığında kullanılacak en iyi transfer vinci sayısı ve en iyi depolama alanı miktarının belirlenmesinde kullanılabilecek yaklaşım geliştirilmesi	Deterministik ve stokastik model
Kalfakou ve diğerleri (2003)	☒			Belirli kısıtlar altında farklı ürünlerin eş zamanlı olarak aynı alanda depolanması için gerekli minimumen düşük depo alanının belirlenmesi	Grafik teorisi temelli sezgisel
Makris ve Giakoumakis (2003)	☒			Dikdörtgen raflı depo çevrelerinde sipariş toplama prosedürü için bir yaklaşım uygulanması	k-değişim sezgiseli
Chiang ve Lee (2004)			☒	Hücre boyutu kısıtı altında hücreler arası akış maliyetinin en küçüklenmesi	Tavlama benzetimi yaklaşımı
El-Baz (2004)			☒	Malzeme taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi	Genetik algoritma
Fonseca ve diğ. (2004)		☒		En uygun konveyörün seçilmesi	Uzman sistem
Lashkari ve diğ. (2004)		☒	☒	Hücresel bir üretim ortamında malzeme taşıma sistemleri ve operasyon atama seçimi ile ilgili yaklaşım sunulması	3 adımdan oluşan iteratif bir yaklaşım
Amato ve diğerleri (2005)	☒			Otomatik depolama sistemlerinin yönetilmesine ilişkin kontrol algoritmaları ortaya konulmuştur.	Renkli zamanlı petri ağ yapısı ve benzetim
Kulak (2005)		☒		En uygun malzeme taşıma aracının seçilmesi	Aksiyomlarla tas. ve bulanık mantık tabanlı uzman sistem

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Vaziri ve Leporte (2005)	☒			Döngüsel tabanlı tesis planlama ve malzeme taşımaya ilişkin bilgi vermek, değerlendirmelerde bulunmak ve diğer çalışmalara ilham kaynağı olmak	Kavramsal modelleme
Yang ve diğ. (2005)			☒	Malzeme akış yolu tasarımı ve etkin bir yerleşim planlama yapılarak malzeme taşıma maliyetlerinin enküçüklenmesi	İki adımlı sezgisel yöntem (Tavlama benzetimi)
Chan ve diğ. (2006)			☒	Hücre içi ve hücreler arası parça hareketlerinin en aza indirilmesi	Genetik algoritma
Filho ve Tiberti (2006)			☒	Hücre oluşturulmasına yönelik olarak bir model geliştirilmesi hedeflenmiştir.	Grup genetik algoritma
Hwang ve Cho (2006)	☒			Depo ortamındaki taşıyıcıların dolaşma mesafelerini kısaltmayı hedefleyen model	Matematiksel model ve benzetim
Khayat ve diğ. (2006)		☒		Birleştirilmiş üretim ve malzeme taşıma çizelgeleme modeline ilişkin bütünsel bir yapı sunulması	Kısıt programlama modeli
Şatoğlu ve diğ. (2006)	☒			Hücrel üretim ortamında uygun malzeme taşıma araçlarının seçilmesi problemi	Faaliyet tabanlı maliyetlendirme
Zhang ve Lai (2006)	☒			Çoklu seviyeli depo yerleşim problemlerine ilişkin dikey ulaştırma maliyetlerinin en aza indirilmesi	Melez sezgisel
Curicato ve diğ. (2007)		☒		Hücreler arasındaki malzeme akışını en kısa sürede yerine getirmek için tek döngülü malzeme akış sistem tasarımı yapılması	Dal ve Kesme
Correa ve diğ. (2007)		☒		Esnek üretim sistemi ile ilgili otomatik yönlendirmeli araçlara ilişkin dağıtma ve serbest rotalama işlerine yönelik melez bir yaklaşım sunulmuştur.	Melez algoritma
Drira ve diğ. (2007)	☒			Tesis yerleşimi konusunda literatür taraması, analizlerinin yapılması ve çeşitli çıkarımlarda bulunulması	Kavramsal modelleme
Fa-Liang ve diğ. (2007)	☒			Otomatik bir depo sisteminde kapasite sınırları ve çoklu amaca uygun olarak sipariş toplamının iyileştirilmesi	Genetik algoritma

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Gu ve diğ. (2007)	☒			Akademik çalışanlar ve pratik uygulayıcılar arasında bir köprü kurulması için depo operasyon planlama problemlerine ilişkin geniş bir literatür taraması yapılması	Kavramsal modelleme
Ioannou (2007)		☒	☒	Malzeme taşıma sisteminin tasarımı için atölyedeki kaynak gruplarının yerleşimini ilgilendiren kararların alınmasını bütünleştiren bir yaklaşım geliştirilmesi	Tamsayılı Programlama
Koster ve diğ. (2007)	☒			Depo tasarımında yer alan sipariş toplama ile ilgili literatürdeki çalışmaların incelenmesi, mevcut durumun tanımlanması ve araştırmaya açık konuların belirlenmesi	Kavramsal modelleme
Lu-Duc ve Koster (2007)	☒			Sipariş toplama çalışmalarındaki parti miktarının bulunması	S şekilli sezgisel
Sujono ve Lashkari (2007)		☒		Esnek üretim sisteminde çoklu performans amacıyla malzeme taşıma sistemi ve operasyon atama seçimini eş zamanlı olarak yapan bir yaklaşım geliştirilmesi	Çok amaçlı bir model ve e kısıtı
Vaziri ve diğ. (2007)			☒	Malzeme taşıma problemlerinde yüklü ve boş olan araçların dolaşım sürelerinin en aza indirilmesi	İkili tamsayılı programlama ve çeşitli sezgiseller
Ahi ve diğ. (2008)			☒	Hücrel üretim ortamında hücre içi makine yerleşimi ve hücre yerleşiminin sağlanması	TOPSIS
Babiceanu ve Chen (2008)		☒		Dağınık ve merkezi taşıma sistemlerinin karşılaştırılması	Benzetim
Hao ve Shen (2008)		☒	☒	Kanban tabanlı bir malzeme taşıma sisteminde melez simülasyon problemi oluşturulması	Melez benzetim modelleme
Raman ve diğ. (2008)		☒		Birimler arasında etkin bir taşıma için malzeme taşıma aracının miktarının belirlenmesi	İki adımlı bir yaklaşım
Önüt ve diğ. (2008)	☒			Yıllık taşıma maliyetlerini en küçükleyen çoklu seviyeli depo raf yapılandırması tasarlanması	Parçacık sürü eniyilemesi

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Safaei ve diğ. (2008)			☒	Dinamik bir ortamda hücreler üretim sistemlerinde hücre içi ve hücreler arası taşıma ve yeniden tasarlanma maliyetleri, makinenin değişken ve sabit maliyetlerinin en aza indirilmesi	Melez meta-sezgisel ve tavlama benzetimi
Zhang ve diğ. (2008)			☒	Mevcutta var olan bir yerleşim plana sınırlı boyutlu bir birimin en iyi şekilde yerleştirilmesi	Analitik bir algoritma
Ariaifar ve İsmail (2009)			☒	Gerek hücre içi gerekse de hücre dışı malzeme taşıma hareketlerinin en aza indirilmesi	Modifiye edilmiş tavlama benzetimi
Baker ve Canessa (2009)	☒			Depo yeri tasarımlarında bütünsel yöntemlerin irdelenmesi ve alternatif bir tasarım çerçevesi önerilmesi	Kavramsal modelleme
Im ve diğ. (2009)		☒		Malzeme dağıtım sürelerinin en aza indirilmesi	Modifiye edilmiş Macar yöntemi
Mirhosseini ve Webb (2009)		☒		En uygun malzeme taşıma araçlarının seçilmesi	Bulanık uzman sistem ve genetik algorithmadan oluşan iki adımlı yöntem
Nishi ve Konishi (2009)	☒			Yeniden taşıma gerektiren operasyonların en küçüklenmesi	Işın demeti metoduna dayalı sezgisel
Sayarshad (2010)		☒		İç lojistik faaliyetleri için gerekecek malzeme taşıma aracı sayısının tespit edilmesi	Arı algoritması
Shirazi ve diğerleri (2010)			☒	Döngü içi, döngüler arası malzeme akışı ve hücreler arası taşınan en yüksek miktarın en aza indirilmesi	Modifiye edilmiş karınca kolonisi metodu
Tuzkaya ve diğerleri (2010)		☒		En uygun malzeme taşıma aracının seçilmesi	Bulanık analitik ağ süreci ve bulanık öncelik sıralama met. oluşan iki adımlı bir yöntem
Xiao ve Zheng (2010)	☒			Depolama raflarına en uygun parça atamasının sağlanması	Çok aşamalı bir sezgisel matematiksel model

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Boysen ve Bock (2011)		☒	☒	Karma modelli montaj hatlarının ihtiyaç duydukları parçaların merkezi bir depodan istasyonlardaki stok miktarını en aza düşürecek şekilde kutu sırası belirlenerek forkliflerde yüklenmesi	Dinamik programlama ve tavlama benzetimi
Kılıç vd (2011)		☒	☒	Zaman periyodunun belli olduğu bir model ve bir araca birden fazla rota atama durumu ile üretim ortamında araç rotalama çalışması yapılmıştır	Karma Tamsayılı Model
Pillac ve diğ. (2012)		☒		Dinamik araç rotalama problemlerine dair uygulama ve çözüm yöntemlerine ilişkin kapsamlı bir inceleme sunulmuştur.	Dinamik ve deterministik model
Schmid ve diğ. (2012)	☒	☒		Lot büyüklüğü, planlama, paketlenme, istifleme, stoklama ve intermodaliteye odaklanarak yeni bir araç rotalama yaklaşımına odaklanılmıştır.	Karma Tamsayılı Programlamaya dayalı sezgisel
Gyulai ve diğ. (2013)		☒		Lojistik araçların sınırlı kapasitesi ve zaman kısıtı altında lojistik faaliyetlerin üretimi hatasız şekilde destekleyebilmesi için yeni araç rotalama yaklaşımları önerilmiştir.	Başlangıç çözümü sezgiseli ve yerel arama metoduna dayanan ARP yaklaşımı
Ma ve Wei (2013)		☒		Tedarik ve üretim lojistiğinde etkin bir araç rotalama yaparak otomotiv sektörü için yedek parça hareketlerinin üretimi daha hızlı besleyecek şekilde yapılması hedeflenmiştir.	Zaman pencereli araç rotalama problemi
Alnahlal ve Noche (2014)		☒		Kısa trenlerin kullanıldığı bir üretim ortamında araç rotalama, yükleme ve programlama sürecini kolaylaştırmak amaçlanmıştır. Çalışmada aynı zamanda makine arızası, hat durması ve arızalı parçalar gibi sorunlu durumlara odaklanılmıştır.	Talep odaklı ve e-kanban sistemlerinin karışımından oluşan bir strateji
Boysen ve diğ. (2014)	☒	☒		Otomotiv sektöründeki yedek parça lojistiğinin tüm boyutlarıyla geliştirilmesi için karar problemleri, literatür araştırması ve araştırma ajandası sunulmuştur.	Kavramsal modelleme

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Zhang ve diğ. (2014)		☒		Otomatik tanımlama teknolojilerinin sağladığı gerçek zamanlı bilgi alışverişi ile malzeme elleçleme görevlerinin optimizasyonu amaçlanmıştır.	Dinamik optimizasyon modelleme
Seebacher ve diğ. (2014)			☒	Otomatik tanımlama teknolojileri ve simülasyon yardımıyla üretim lojistiğindeki zaman kayıplarının azaltılması ve iş akışlarının doğru modellenmesi amaçlanmıştır.	Simülasyon modelleme
Korytkowski ve Karkoszka (2015)	☒			Döngüsel seferler montaj hattı etkinliği, depo – üretim arası malzeme hareketlerinin etkinliği artırmaktadır. Yapılan simülasyon çalışması ile takt zamanları, tampon kapasitesi, tedarik süresi analizi yapılmıştır.	Simülasyon modelleme
Ucar ve Bayrak (2015)		☒		Bu çalışmada süpermarket tipi üretim ortamındaki küçük dahili depoların ve iç taşıma faaliyetlerinin ergonomik açıdan geliştirilmesi hedeflenmiştir.	Kavramsal Modelleme
Schmidt ve diğ. (2016)		☒		Döngüsel sefer ile taşıma her ne kadar yüksek taşıma kapasitesi, iş gücü tasarrufu, birden fazla değişik noktadaki teslimatı kısa sürede sağlasa da diğer taşıma yöntemlerinin aksine planlaması daha zordur. Bu çalışmada bu zorluğu aşmak için literatür araştırması sunulmuştur.	Literatür Taraması
Yılmaz ve diğ. (2017)		☒	☒	Uygun malzeme taşıma ekipmanı ve doğru hat besleme yönteminin seçilebilmesi için bulanık analitik ağ prosesinden faydalanılmış ve sonuçlar bir montaj tesisinde canlı olarak test edilmiştir.	Bulanık Analitik Ağ Prosesi
Greenwood ve diğ. (2017)	☒	☒		Çok seviyeli çerçeve çalışması ile araçların ve operatörlerin fiziksel eylemleri, lojistik faaliyetleri ve stratejik düzey planlama ve karar değişkenleri de dahil olmak üzere üretim sistemlerin işleyişini iyileştirmek amaçlanmıştır.	Simülasyon modelleme
Saez-Mas ve diğ. (2018)			☒	Hareketli araç gövdelerinin boyahaneden montaj hattına taşınması işleminin uygun sıralama ile gerçekleşmesi örnek uygulaması ve yerleşim düzeninin değerlendirildiği örnek uygulamasına göre yapılan simülasyon çalışması ile farklı operasyon katmanlarının taşıma verimliliği ilişkisi incelenmiştir.	Simülasyon Modelleme
TOPLAM	28	31	19		

AKSİYOMLARLA TASARIM LİTERATÜR MATRİSİ

YAYINLAR	Çalışma Zamanı	Kullanılan Aksiyom		Odaklanılan Alan					
		A1	A2	Ürün Tasarımı	Yazılım Tasarımı	Kalite	Karşılaştırma - Seçim	Üretim Sistem Tasarımı	Diğerleri
Black ve Schroer	1988	√						√	
Suh	1990	√	√	√					
Kim ve diğerleri	1991	√			√				
Suh	1995	√		√		√			
Gunasekera ve Ali	1995	√						√	
Harutunian ve diğerleri	1996	√			√				
Gazdik	1996	√							√

YAYINLAR	Çalışma Zamanı	Kullanılan Aksiyom		Odaklanılan Alan					
		A1	A2	Ürün Tasarımı	Yazılım Tasarımı	Kalite	Karşılaştırma - Seçim	Üretim Sistem Tasarımı	Diğerleri
Park ve Suh	1996	√						√	
Tseng ve Jiao	1997	√		√					
Suh	1997	√						√	
Goel ve Singh	1998	√	√	√					
Suh ve diğerleri	1998	√						√	
Cochran ve diğerleri	1998	√						√	
Babic	1999	√						√	
Cha ve Cho	1999	√		√					
Suh ve Do	2000	√			√				
Cochran ve diğerleri	2000	√						√	
Cochran ve Kim	2000	√		√					√
Lenz ve Cochran	2000	√		√					
Engelhardt ve Nordlund	2000	√							√
Yang ve Zhang	2000	√							√
Werneman ve diğerleri	2000	√							√
Chen ve diğerleri	2001	√						√	
Haushmand ve Jamshidnezhad	2002	√						√	
Donnarumma ve diğerleri	2002	√	√						√
Huang	2002	√		√	√				
Baxter ve diğerleri	2002	√	√						√
Söderberg ve Lindkvist	2002	√			√				√
Chen ve Feng	2003	√		√					

YAYINLAR	Çalışma Zamanı	Kullanılan Aksiyom		Odaklanılan Alan					
		A1	A2	Ürün Tasarımı	Yazılım Tasarımı	Kalite	Karşılaştırma - Seçim	Üretim Sistem Tasarımı	Diğerleri
Calarge ve Lima	2004	√				√			
Hu ve diğerleri	2004	√					√		
Kulak ve Kahraman	2005a		√				√		
Kulak ve Kahraman	2005b		√				√		
Kulak ve diğerleri	2005		√				√		
Thielman ve diğerleri	2005	√		√					
Pappalardo ve Nadeo	2005		√						√
Haushmand ve Jamshidnezhad	2005	√	√					√	
Hirani ve Suh	2005	√		√					
Schnetzler ve diğerleri	2006	√							√
Heo ve Lee	2007	√		√					
Liang	2007	√	√	√					
Stiassnie ve Shpitalni	2007	√		√				√	
Gonçalves ve Coelho	2007		√				√		
Nakao ve diğerleri	2007	√					√	√	
Liu ve diğerleri	2007		√						√
Çelik ve diğerleri	2007		√				√		
Liu ve Pedrycz	2007		√						√
Togay ve diğerleri	2008	√			√				
Bang ve Heo	2008	√		√					√
Durmuşoğlu ve Kulak	2008	√							√
Shin ve diğerleri	2008	√		√					

YAYINLAR	Çalışma Zamanı	Kullanılan Aksiyom		Odaklanılan Alan					
		A1	A2	Ürün Tasarımı	Yazılım Tasarımı	Kalite	Karşılaştırma - Seçim	Üretim Sistem Tasarımı	Diğerleri
Yan ve diğerleri	2009	√		√					
Urbanic ve Maraghy	2009	√		√					
Duigou ve diğerleri	2009	√		√	√				
Tang ve diğerleri	2009	√					√		
Kahraman ve Çebi	2009	√	√						√
Peck ve Kim	2010								
Çebi ve Kahraman	2010	√	√	√					
Çiçek ve Çelik	2010	√					√		
Garcia ve diğerleri	2010	√	√				√		
Janthong ve diğerleri	2010	√		√				√	
Çebi ve diğerleri	2010	√		√					
Li ve diğerleri	2011	√							√
Shirwaiker ve Okudan	2011		√					√	
Ogot	2011	√	√					√	
Büyüközkan ve diğerleri	2012	√						√	
Linke ve Dornfeld	2012		√					√	
Liu ve diğerleri	2013	√							√
Chakravarty ve Pal	2013	√							√
Du ve diğerleri	2013	√		√					
Qiao ve Shang	2013	√		√					
Zhang ve diğerleri	2014	√	√	√					
Landes	2014		√						√

YAYINLAR	Çalışma Zamanı	Kullanılan Aksiyom		Odaklanılan Alan					
		A1	A2	Ürün Tasarımı	Yazılım Tasarımı	Kalite	Karşılaştırma - Seçim	Üretim Sistem Tasarımı	Diğerleri
Weber ve diğerleri	2015	√	√				√	√	
Girgenti ve diğerleri	2015	√	√			√	√		
Marcias ve diğerleri	2015	√			√			√	
Modrak ve Bednar	2015	√	√					√	
Rauch ve diğerleri	2015	√	√					√	
Fouladi ve Abedian	2015	√	√	√					
Borgianni ve Matt	2016	√						√	
Büyüközkan ve Göçer	2016	√					√		
Salonitis	2016		√	√				√	
Zhu ve diğerleri	2016		√	√					
Kır ve Yazgan	2016	√		√				√	
Chen ve diğerleri	2016	√				√	√		
Candan ve diğerleri	2016	√				√	√		
Çakır	2016	√					√		
Zheng ve diğerleri	2016	√					√	√	
Babur ve diğerleri	2016		√			√		√	
Shao ve diğerleri	2016		√			√		√	
Öztaysi ve diğerleri	2017	√				√	√		
Cheng ve diğerleri	2017	√		√				√	
Arcidiacono ve diğerleri	2017	√				√			
Villeco ve Pellegrino	2017		√			√		√	
Lapinskiene ve Martinaitis	2017		√			√			
Landi ve diğerleri	2017	√	√			√		√	

YAYINLAR	Çalışma Zamanı	Kullanılan Aksiyom		Odaklanılan Alan					
		A1	A2	Ürün Tasarımı	Yazılım Tasarımı	Kalite	Karşılaştırma - Seçim	Üretim Sistem Tasarımı	Diğerleri
Nakao ve Lino	2017		√			√	√		
Wang ve diğerleri	2017		√						√
Rauch ve diğerleri	2018	√							√
Mizani ve diğerleri	2018	√							√
Maghsoodi ve diğerleri	2018	√		√		√			
Rizutti ve De Napoli	2018		√			√		√	

EN UYGUN İÇ LOJİSTİK TAŞIMA YÖNTEMİNİN SEÇİLEBİLMESİ İÇİN BULANIK AKSİYOMLARLA TASARIM UYGULAMASININ HESAPLAMALARI

“Teslim Kalitesi” Kriterine Göre Alternatif Taşıma Yöntemlerinin Fonksiyonel İhtiyaçlarının Bilgi Değerleri:

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma:

$$I_{DSTK} = \log_2 \left(\frac{100-93}{100-95} \right) = \log_2(1,4) = 0,48$$

Kombine Taşıma 1 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma):

$$I_{KT1TK} = \log_2 \left(\frac{100-95}{100-95} \right) = \log_2(1) = 0$$

Kombine Taşıma 2 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma):

$$I_{KT2TK} = \log_2 \left(\frac{100-95}{100-95} \right) = \log_2(1) = 0$$

“Lojistik Maliyet” Kriterine Göre Alternatif Taşıma Yöntemlerinin Fonksiyonel İhtiyaçlarının Bilgi Değerleri:

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma:

Şekil 7.10'daki A noktası | CE | ile | BD | doğrularının kesişim noktasıdır ve koordinatları için bu iki doğrunun denklemleri bulunarak birlikte çözümleri yapılır. C noktasının koordinatları

(2,0) ve E noktasının koordinatları ise (9,1) şeklindedir. B noktasının koordinatları (3,0) ve D noktasının koordinatları (0,1) şeklindedir.

| CE | doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Formülünde C ve E noktalarının koordinatları kullanılarak doğru denklemi,

$$(x - 2) / (9-2) = (y-0) / (1-0)$$

$x - 7y - 2 = 0$ olarak hesaplanır.

| BD | doğrusu için,

Aynı şekilde B ve D noktalarının koordinatları kullanılarak doğru denklemi,

$$(x - 3) / (0 - 3) = (y - 0) / (1-0)$$

$x + 3y - 3 = 0$ olarak hesaplanır.

Bu 2 doğru y için birlikte kullanıldığında,

$$x - 7y - 2 = 0$$

$$x + 3y - 3 = 0$$

$y = 0,1$ Bu değer kullanılarak bilgi içeriği hesaplaması aşağıda yapılmıştır.

$$I_{DSLM} = \log_2 \left(\frac{\frac{(3-0)x1}{2}}{\frac{(3-2)x0,1}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,05} \right) = 4,910$$

Kombine Taşıma 1 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma):

Şekil 7. 11’de A noktası | CE | ile | BD | doğrularının orta noktasında bulunmaktadır. Bu bilgiden hareketle A noktasının y koordinatının 0,5 değerine sahip olduğu bilgisine ulaşılır. Bilgi içeriği hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$I_{KTILM} = \log_2 \left(\frac{\frac{(10-8)x1}{2}}{\frac{(9-8)x0,5}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1}{0,25} \right) = 2$$

Kombine Taşıma 2 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa

Trenler ile Taşıma):

Şekil 7. 12’de (ABCD) şeklinin alanını hesaplamak için şekli (ABC) ve (ACD) olarak iki ayrı üçgene ayırarak hesaplama yapılmalıdır. (ABC) üçgeninin alanını hesaplayabilmek için C noktasının koordinatları bilinmelidir. Aynı şekilde (ACD) üçgeninin alanını hesaplayabilmek için de C ve D noktasının koordinatları bilinmelidir. Bu koordinatları bulup iki ayrı üçgeninin alanını hesapladığımızda toplam alan Şekil 7. 12’deki kırmızı bölgenin alanını verecektir.

Şekil 7.12’deki C noktası | BG | ile | EF | doğrularının kesişim noktasıdır ve koordinatları için bu iki doğrunun denklemleri bulunarak birlikte çözümleri yapılır. B noktasının koordinatları (9,0) ve G noktasının koordinatları ise (7.5,1) şeklindedir. E noktasının koordinatları (2,0) ve D noktasının koordinatları (9,1) şeklindedir.

| BG | doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Formülünde B ve G noktalarının koordinatları kullanılarak doğru denklemi,

$$(x - 9) / (7.5 - 9) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$2x + 3y - 18 = 0$ olarak hesaplanır.

| EF | doğrusu için,

Aynı şekilde E ve F noktalarının koordinatları kullanılarak doğru denklemi,

$$(x - 2) / (9 - 2) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$x - 7y - 2 = 0$ olarak hesaplanır.

Bu 2 doğru y için birlikte kullanıldığında,

$$2x + 3y - 18 = 0$$

$$x - 7y - 2 = 0$$

$x = 7,765$ $y = 0,823$ C noktasının koordinatları (7.765,0.823) şeklinde bulunur.

Şekil 7.12'deki D noktası $|AG|$ ile $|EF|$ doğrularının kesişim noktasıdır ve koordinatları için bu iki doğrunun denklemleri bulunarak birlikte çözümleri yapılır. A noktasının koordinatları (6,0) ve G noktasının koordinatları ise (7.5,1) şeklindedir. E noktasının koordinatları (2,0) ve D noktasının koordinatları (9,1) şeklindedir.

$|AG|$ doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Formülünde A ve G noktalarının koordinatları kullanılarak doğru denklemi,

$$(x - 6) / (7.5 - 6) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$2x - 3y - 12 = 0$ olarak hesaplanır.

$|EF|$ doğrusu için,

Aynı şekilde E ve F noktalarının koordinatları kullanılarak doğru denklemi,

$$(x - 2) / (9 - 2) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$x - 7y - 2 = 0$ olarak hesaplanır.

Bu 2 doğru y için birlikte kullanıldığında,

$$2x - 3y - 12 = 0$$

$$x - 7y - 2 = 0$$

$x = 7,091$ $y = 0,727$ D noktasının koordinatları (7.091,0.727) şeklinde bulunur.

(ACD) üçgeninin alanı bu 3 noktanın koordinatları ile aşağıdaki formülasyona göre bulunur.

$$A(ACD) = \frac{1}{2} |(x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_1) - (y_2x_3 + y_3x_1 + y_1x_2)|$$

$$= \frac{1}{2} |(6 \times 0,823 + 7,765 \times 0,727 + 7,091 \times 0) - (0,823 \times 7,091 + 0,727 \times 6 + 0 \times 7,765)| = 0,193$$

Aynı şekilde (ABC) üçgeninin alanı bu 3 noktanın koordinatları ile aşağıdaki formülasyona göre bulunur.

$$A(ABC) = \frac{1}{2} \left| (x_1 y_2 + x_2 y_3 + x_3 y_1) - (y_2 x_3 + y_3 x_1 + y_1 x_2) \right|$$

$$= \frac{1}{2} \left| (6 \times 0 + 9 \times 0,823 + 7,765 \times 0) - (0 \times 7,765 + 0,823 \times 6 + 0 \times 9) \right| = 1,235$$

Bilgi içeriği hesabı ise aşağıdaki formülasyona göre bulunur.

$$I_{KT2LM} = \log_2 \left(\frac{\frac{(9-6)x1}{2}}{0,193+1,235} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{1,428} \right) = 0,071$$

“Teslim Süresi” Kriterine Göre Alternatif Taşıma Yöntemlerinin Fonksiyonel İhtiyaçlarının Bilgi Değerleri:

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma:

$$I_{DSTS} = \log_2 \left(\frac{6-2}{6-4} \right) = \log_2 2 = 1$$

Kombine Taşıma 1 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma):

$$I_{KT1TS} = \log_2 \left(\frac{6-2}{6-3} \right) = \log_2 (1,33) = 0,41$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma):

$$I_{KT2TS} = \log_2 \left(\frac{6-2}{6-2} \right) = \log_2 (1) = 0$$

“Uygunluk” Kriterine Göre Alternatif Taşıma Yöntemlerinin Fonksiyonel İhtiyaçlarının Bilgi Değerleri:

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma:

$$I_{DSTS} = \log_2 \left(\frac{\frac{(7-4)x1}{2}}{\frac{(7-6)x0,333}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,167} \right) = 3,17$$

Kombine Taşıma 1 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma):

$$I_{KT1U} = \log_2 \left(\frac{\frac{(9-6)x1}{2}}{\frac{(9-6)x1}{2}} \right) = \log_2 (1) = 0$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma):

$$I_{KT2U} = \log_2 \left(\frac{\frac{(7-4)x1}{2}}{\frac{(7-6)x0,333}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,167} \right) = 3,17$$

“Taşıma Hacmi” Kriterine Göre Alternatif Taşıma Yöntemlerinin Fonksiyonel İhtiyaçlarının Bilgi Değerleri:

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma:

$$I_{DSTH} = \log_2 \left(\frac{\frac{(9-6)x1}{2}}{\frac{(9-6)x0,45}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,675} \right) = 1,152$$

Şekil 7.18’deki ortak alanın hesaplanabilmesi için A noktasının koordinatlarından y eksenini bulmak gerekmektedir. A noktası, | EB | ve | CD | doğrularının kesişim noktası olduğundan bu doğruların kesişim noktalarının hesabı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

| EB | doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$(x - 7,5) / (9 - 7,5) = (y - 1) / (0 - 1)$$

$2x + 3y - 15 = 0$ olarak hesaplanır.

| CD | doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$(x - 6) / (10 - 6) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$x - 4y - 6 = 0$ olarak hesaplanır.

Bu 2 doğru y için birlikte kullanıldığında,

$$2x - 3y - 18 = 0$$

$$x - 4y - 6 = 0$$

$$y = 0,45$$

Bu y değeri ile Şekil 7.18'deki (ABC) üçgeninin alanı Eşitlik 6.20 aracılığıyla yukarıda gösterildiği şekilde hesaplanır.

Kombine Taşıma 1 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma):

$$I_{KT1TH} = \log_2 \left(\frac{\frac{(10-8)x1}{2}}{\frac{(10-8)x1}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1}{1} \right) = 0$$

Kombine Taşıma 2 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma):

$$I_{KT2TH} = \log_2 \left(\frac{\frac{(10-8)x1}{2}}{\frac{(10-8)x1}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1}{1} \right) = 0$$

“Güvenilirlik” Kriterine Göre Alternatif Taşıma Yöntemlerinin Fonksiyonel İhtiyaçlarının Bilgi Değerleri:

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma:

$$I_{DSG} = \log_2 \left(\frac{\frac{(7-4)x1}{2}}{\frac{(7-4)x1}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{1,5} \right) = 0$$

Kombine Taşıma 1 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma):

$$I_{KT1G} = \log_2 \left(\frac{\frac{(5-2)x1}{2}}{\frac{(5-4)x0,333}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,1667} \right) = 3,17$$

Kombine Taşıma 2 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma):

$$I_{KT2G} = \log_2 \left(\frac{\frac{(7-4)x1}{2}}{\frac{(7-4)x1}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{1,5} \right) = 0$$

“Koordinasyon Kolaylığı” Kriterine Göre Alternatif Taşıma Yöntemlerinin Fonksiyonel İhtiyaçlarının Bilgi Değerleri:

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma:

$$I_{DSKK} = \log_2 \left(\frac{\frac{(9-6)x1}{2}}{\frac{(9-6)x0,545}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,8175} \right) = 0,876$$

Şekil 7.26'daki ortak alanın hesaplanabilmesi için A noktasının y eksenini bulmak gerekmektedir. A noktası, | BD | ve | CE | doğrularının kesişim noktasında yer almaktadır.

| BD | doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$(x - 9) / (7,5 - 9) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$$2x + 3y - 18 = 0$$

| CE | doğrusu için,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$(x - 6) / (10 - 6) = (y - 0) / (1 - 0)$$

$$x - 4y - 6 = 0$$

Bu 2 doğru y için birlikte kullanıldığında,

$$2x + 3y - 18 = 0$$

$$x - 4y - 6 = 0$$

$$y = 0,545$$

Kombine Taşıma 1 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma):

$$I_{KT1KK} = \log_2 \left(\frac{\frac{(9-6)x_1}{2}}{\frac{(9-6)x_{0,545}}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1,5}{0,8175} \right) = 0,876$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik (Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer:

$$I_{KT2KK} = \log_2 \left(\frac{\frac{(10-8)x_1}{2}}{\frac{(10-8)x_1}{2}} \right) = \log_2 \left(\frac{1}{1} \right) = 0$$

Ağırlıklandırılmış Bilgi Aksiyomu Hesaplamaları:

Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma:

$$I_{DSTK} = (0,48)^{(1/0,238)} = 0,0458$$

$$I_{DSL M} = (4,91)^{(0,416)} = 1,938$$

$$I_{DST S} = W_{TS} = 0,138$$

$$I_{DSU} = (3,17)^{0,065} = 1,078$$

$$I_{DST H} = (1,152)^{0,057} = 1,008$$

$I_{DSG} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$$I_{DSKK} = (0,876)^{(1/0,626)} = 0,737$$

Kombine Taşıma 1 Otomatik Boru Taşıma Makinesi + El Arabası ile Taşıma):

$I_{KT1TK} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$$I_{KT1LM} = (2)^{0,416} = 1,334$$

$$I_{KT1TS} = (0,41)^{(1/0,138)} = 0,00016$$

$I_{KT1U} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT1TH} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$$I_{KT1G} = (3,17)^{0,039} = 1,046$$

$$I_{KT1KK} = (0,876)^{(1/0,626)} = 0,737$$

Kombine Taşıma 2 (Otomatik (Boru Taşıma Makinesi + Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma):

$I_{KT2TK} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$$I_{KT2LM} = (0,071)^{(1/0,416)} = 0,0017$$

$I_{KT2TS} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$$I_{KT2U} = (3,17)^{0,065} = 1,078$$

$I_{KT2TH} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT2G} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

$I_{KT2KK} = 0$ olduğundan sonuç değişmez.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ozan ATEŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.10.1985 / Bursa
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ozan.ates@outlook.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Sistem Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Maltepe Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Hacı Hatice Bayraktar A.L.	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017	Tadım Kuruyemiş	Lojistik Planlama Yöneticisi
2014	Tadım Kuruyemiş	Lojistik Planlama Sorumlusu
2010	Horoz Lojistik	Lojistik Merkezi Şefi

YAYINLARI

Bildiri

1. Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı ile Üretimde Uygun Taşıma Yönteminin Belirlenmesi (Otomotiv Teknolojileri Konferansı, Bursa, 7-8 Mayıs 2018)

ÖDÜLLERİ

1. Maltepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölüm 2.ligi
2. Tadım Kuruyemiş 2017 Proje Birinciliği, Hammadde ve Bitmiş Ürün Lojistiği Verimliliği