

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONTEYNER KAPASİTE VE TAŞIMA PLANLAMA POLİTİKALARININ
SİSTEM DİNAMİĞİ YAKLAŞIMI İLE MODELLEMESİ**



DOKTORA TEZİ

Mehmet Çağatay BAHADIR

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONTEYNER KAPASİTE VE TAŞIMA PLANLAMA POLİTİKALARININ
SİSTEM DİNAMİĞİ YAKLAŞIMI İLE MODELLEMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Mehmet Çağatay BAHADIR
(507112008)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hatice CAMGÖZ AKDAĞ

AĞUSTOS 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507112008 numaralı Doktora Öğrencisi Mehmet Çağatay BAHADIR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KONTEYNER KAPASİTE VE TAŞIMA PLANLAMA POLİTİKALARININ SİSTEM DİNAMİĞİ YAKLAŞIMI İLE MODELLEMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hatice CAMGÖZ AKDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri :

Prof. Dr. Emre ÇEVİKCAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şule ITİR SATOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selim ZAİM
İstanbul Şehir Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Halefşan SÜMEN
Maltepe Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Temmuz 2020
Savunma Tarihi : 10 Ağustos 2020





Eşime ve aileme,



ÖNSÖZ

Akademik hayatım süresince desteklerini hep yanımda hissettiğim, bu çalışmanın ortaya çıkmasında benden desteklerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Hatice CAMGÖZ AKDAĞ’a en içten saygılarımla teşekkürlerimi sunarım. Yapıcı geribildirimleri ile tezimin şekillenmesinde katkıda bulunan değerli jüri üyesi hocalarım Prof. Dr. Selim ZAIM ve Dr. Öğr. Üyesi Halil Halefşan SÜMEN’a ayrıca sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Görev yapmış olduğum altı senelik profesyonel çalışma hayatım sırasında, doktora çalışmalarımı destekleyen ve işletme içerisinde bana uygulama yapma fırsatı tanıyan TOFAŞ yönetimine ve özellikle müdürlerim Mehmet KARACA, Ahmet Özgür DOĞAN ve Haydar VURAL’a en içten saygılarımla teşekkür ederim.

Çalışmaların tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen, görüşlerini paylaşan ve motive eden Çağrı BAHADIR ve Doç. Dr. Senem KURŞUN BAHADIR’a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Son olarak söz konusu süreçte desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, zaman zaman ihmal etmek durumunda kalmama rağmen, anlayışla karşılayan sevgili eşim Sevgi BAHADIR, yaşamımın her anında yanımda olan ve beni her konuda desteklediğini bildiğim babam Prof. Dr. Ali BAHADIR ve annem Saire BAHADIR’a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Yoğun emek ve özveri ile hazırladığım “Konteyner Kapasite ve Taşıma Planlama Politikalarının Sistem Dinamiği Yaklaşımı ile Modellemesi” adlı tez çalışmamın ülkeme maddi ve manevi açıdan katma değer sağlaması dileklerimle...

Ağustos 2020

Mehmet Çağatay BAHADIR
Veri bilimi uzmanı



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. KONTEYNER YÖNETİMİ	5
2.1 Yeniden Kullanılabilir Taşıyıcı Ekipman ve Konteyner Kavramı.....	5
2.2 Konteyner Özellikleri ve Çeşitleri.....	7
2.3 Konteyner Ağ Yapıları	10
2.4 Konteyner Yönetim Sistemi Kararları.....	11
2.5 Otomotiv Sektöründe Konteyner Filo Yönetimi ve Operasyonları	12
3. YAYIN TARAMASI	17
3.1 Yeniden Kullanılabilir Taşıyıcı Yayın Taraması	17
3.2 Sistem Dinamiği Yayın Taraması	26
4. ÇALIŞMA METODOLOJİSİ	33
4.1 Sistem Düşüncesi ve Sistem Dinamiğine Genel Bakış	34
4.1.1 Sistem düşüncesi	35
4.1.2 Sistem dinamiği.....	36
4.2 Sistem Dinamiğinin Modelinin Yapısı	41
4.2.1 Stok ve akışlar	42
4.2.2 Karar fonksiyonları ve bilgi akışı.....	45
4.3 Sistem Dinamiği Modeli Aşamaları	45
4.3.1 Problem belirleme ve tanımlama.....	45
4.3.2 Model kavramsallaştırma.....	46
4.3.3 Benzetim modeli geliştirme	47
4.3.4 Model geçerlilik (güvenilirlik) testi.....	47
4.3.5 Model analizi.....	48
4.3.6 Modelin uygulanması	49
4.4 Nedensel Döngü Diyagramları.....	49
4.4.1 Pekiştirici (pozitif) geri bildirim döngüleri.....	53
4.4.2 Dengeleyici (negatif) geri bildirim döngüleri	53
4.5 Dinamik Sistemlerin Yapı ve Davranışları	53
5. VAKA ÇALIŞMASI: SD İLE KONTEYNER SERVİS KAPASİTE PLANLAMA MODELLEMESİ	55
5.1 Problemin Tanımlanması.....	59
5.2 Kavramsal Modelleme.....	61
5.2.1 Konteyner sipariş ve sevkiyat süreci	62

5.2.2 Konteyner servis kapasite planlama süreci.....	65
5.2.3 Konteyner hasar ve ıskarta süreci	72
5.2.4 Depo alanı planlama süreci.....	74
5.2.5 Finansal yönetim süreci.....	76
5.3 Benzetim Modeli Geliştirme	80
5.4 Model Güvenilirlik Testi	96
5.5 Politika Tasarımları ve Analizleri	98
5.5.1 Senaryo analizleri.....	100
5.5.1.1 Talebe göre kapasite planlama politikalarının etkisi	100
5.5.1.2 Taşıma politikalarının etkisinin analizi	105
5.5.1.3 Değişime tepki hızının etkisinin analizi	110
5.5.2 Politika iyileştirme çalışmaları.....	115
5.5.3 Duyarlılık analizi	121
5.6 Senaryo ve Duyarlılık Analizi Sonuçları.....	126
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	129
KAYNAKLAR.....	133
EKLER	141
ÖZGEÇMİŞ.....	147

KISALTMALAR

DES	: Kesikli Olay Simülasyonu (Discrete Event Simulation)
EBT	: Vergi Öncesi Kazanç (Earnings Before Tax)
KDS	: Karar Destek Sistemi
KKO	: Kaynak Kullanım Oranı
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
OEM	: Orjinal Ekipman Üreticisi (Original Equipment Manufacturer)
OES	: Orjinal Ekipman Tedarikçisi (Original Equipment Supplier)
RTE	: Yeniden Kullanılabilir Taşıyıcı Ekipman (Returnable Transport Equipment)
RTI	: Yeniden Kullanılabilir Taşıyıcı Araç (Returnable Transport Items)
SD	: Sistem Dinamiği
TZ	: Tedarik Zinciri



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : TZ’de simülasyon yöntemi (Tako ve Robinson, 2012).	27
Çizelge 5.1 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları.	84
Çizelge 5.2 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları 2.	87
Çizelge 5.3 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları 3.	87
Çizelge 5.4 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları 3.	89
Çizelge 5.5 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları 4.	93
Çizelge 5.6 : Vaka çalışması parameter tablosu.....	95
Çizelge 5.7 : Kapasite oranına göre kapasite planlama politikaları.	101
Çizelge 5.8 : Simülasyon 1-2-3 sonuçları.....	104
Çizelge 5.9 : Taşıma politikalarına göre kapasite planlama politikaları.	106
Çizelge 5.10 : Simülasyon 3-4-5 sonuçları.	109
Çizelge 5.11 : Farklı tepki hızlarına göre kapasite planlama politikaları.	110
Çizelge 5.12 : Simülasyon 3-6-7 sonuçları.....	113
Çizelge 5.13 : Farklı talep dalgalanmalarındaki kapasite politikaları.	122
Çizelge 5.14 : Farklı taşıma ücretleri açısından taşıma politikaları.	123
Çizelge 5.15 : Farklı taşıma ücretleri açısından kapasite politikaları.....	124
Çizelge 5.16 : Farklı sipariş ücret tarifeleri açısından kapasite politikaları.	124
Çizelge A.1 : Model doğrulama çalışması talep ve sevk miktarı verileri.....	143
Çizelge A.2 : Simülasyon çalışmaları çıktıları.....	145
Çizelge A.3 : Politika kümelerinin kıyaslanması	146



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çelik-sac konteyner (MEB, 2011).....	8
Şekil 2.2 : Alüminyum konteyner (MEB, 2011).....	9
Şekil 2.3 : Kontrplak konteynerler (MEB, 2011).....	9
Şekil 2.4 : Konteyner taşıma zinciri ağ yapısı (Krudewig, 2015).	11
Şekil 2.5 : Otomotiv tedarik zinciri konteyner akışı (Ijumba, 2012).	13
Şekil 2.6 : Konteyner operasyon döngüsü (Lunani & Hanebeck, 2008).	14
Şekil 2.7 : (a-d) Standart plastik, (b) metal, (c) spesifik metal taşıyıcı.	15
Şekil 2.8 : Konteyner stok seviyeleri (Giubilato, 2017).	15
Şekil 3.1 : Kapalı çevrim ağ yapısı (Zhang ve diğ, 2015).	19
Şekil 3.2 : Stokastik çevrim miktarına sahip TZ ağı (Bottani ve diğ., 2015).	22
Şekil 3.3 : TZ konuları ve karar hiyerarşisi (Tako & Robinson, 2012).....	26
Şekil 3.4 : Kamçı etkisi ve sistem dinamiği modelleme.....	28
Şekil 4.1 : Stok akış diyagramlarının şematik tanımlaması (Helo, 2000).	40
Şekil 4.2 : Stok ve akışlar.	42
Şekil 4.3 : Kapalı ve açık döngü yapıları (Morecroft ve Sterman, 1994).....	50
Şekil 4.4 : Bardağı su doldurma tasviri (Senge, 1994; Şenaras, 2016).	51
Şekil 4.5 : Nedensel bağlantılar (Weber, 2010; Şenaras, 2016).	51
Şekil 4.6 : Nedensel döngü diyagramı (Kirkwood, 1998; Şenaras, 2016).	52
Şekil 4.7 : Dinamik davranış biçimi örnekleri (Barlas, 2012).	54
Şekil 5.1 : Önerilen sistem dinamiği modelleme aşamaları.....	56
Şekil 5.2 : Politika kümesi.	58
Şekil 5.3 : Talebe göre kapasite artırma politikaları.	58
Şekil 5.4 : Konteyner sevkiyatı döngüsü.	63
Şekil 5.5 : Bakiye sipariş döngüsü.	64
Şekil 5.6 : Sevkiyat stratejisi ile servis seviyesi etkileşim döngüsü.....	65
Şekil 5.7 : Sevkiyat stratejisinin kapasite üzerine etkisi.....	66
Şekil 5.8 : Konteyner filo büyüme kararı döngüsü.	67
Şekil 5.9 : Filo büyüme hızı döngüsü.	68
Şekil 5.10 : Konteyner kullanım oranına bağlı filo büyüme karar döngüsü.....	69
Şekil 5.11 : Sipariş büyüklüğünün filo büyümesine etkisi.	70
Şekil 5.12 : Bakiye siparişin filo büyümesine etkisi.	70
Şekil 5.13 : KKO bağlı filo küçülme karar döngüsü.	71
Şekil 5.14 : Servis seviyesi ile filo küçülme ilişkisi.....	72
Şekil 5.15 : Konteyner hasarlanma döngüsü.....	73
Şekil 5.16 : Konteyner ıskarta döngüsü.....	73
Şekil 5.17 : Hasarlanmanın filo büyüme üzerine etkisi.....	74
Şekil 5.18 : Boş konteyner depo alan kısıtı döngüsü.....	75
Şekil 5.19 : Depo alan planlaması.....	75
Şekil 5.20 : Depo alanı büyüme.....	76
Şekil 5.21 : Karlılık ve yatırım ilişkisi.	77
Şekil 5.22 : Hazırlık maliyeti ile filo büyüme ilişkisi.	78

Şekil 5.23 : Sevkiyat maliyet ile filo büyüme ilişkisi.	78
Şekil 5.24 : Elde bulundurma maliyeti ile filo büyüme ilişkisi.	79
Şekil 5.25 : Bakım maliyeti ile filo büyüme ilişkisi.	80
Şekil 5.26 : Stok akış diyagramı (konteyner akışı).	82
Şekil 5.27 : Stok akış diyagramı (toplam çevrim süresi).	88
Şekil 5.28 : Stok akış diyagramı (finansal akışlar).	92
Şekil 5.29 : Konteyner talep dalgalanmaları.	94
Şekil 5.30 : Kamçı etkisi.	97
Şekil 5.31 : Gerçekleşen sevkiyat ile simülasyon sonucu kıyaslaması.	97
Şekil 5.32 : Politika kümesi.	98
Şekil 5.33 : İteratif senaryo analizi çalışmaları.	99
Şekil 5.34 : Konteyner filo büyüklüğü değişimi (simülasyon 1-2-3).	101
Şekil 5.35 : Kaynak kullanım oranı değişimi (simülasyon 1-2-3).	102
Şekil 5.36 : Konteyner servis kapasitesi değişimi (simülasyon 1-2-3).	102
Şekil 5.37 : Ortalama servis seviyesi (simülasyon 1-2-3).	103
Şekil 5.38 : İptal edilen konteyner siparişleri (simülasyon 1-2-3).	103
Şekil 5.39 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 1-2-3).	104
Şekil 5.40 : Konteyner filo büyüklüğü değişimi (simülasyon 3-4-5).	106
Şekil 5.41 : Ortalama kaynak kullanım oranı değişimi (simülasyon 3-4-5).	107
Şekil 5.42 : Konteyner servis kapasitesi değişimi (simülasyon 3-4-5).	107
Şekil 5.43 : Ortalama servis seviyesi (simülasyon 3-4-5).	108
Şekil 5.44 : İptal edilen konteyner siparişi (simülasyon 3-4-5).	108
Şekil 5.45 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 3-4-5).	109
Şekil 5.46 : Konteyner filo büyüklüğü değişimi (simülasyon 3-6-7).	111
Şekil 5.47 : Ortalama KKO değişimi (simülasyon 3-6-7).	111
Şekil 5.48 : Konteyner servis kapasitesi değişimi (simülasyon 3-6-7).	112
Şekil 5.49 : Ortalama servis seviyesi (simülasyon 3-6-7).	112
Şekil 5.50 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 3-6-7).	113
Şekil 5.51 : Ortalama KKO değişimi (simülasyon 2-8-9).	114
Şekil 5.52 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 2-8-9).	115
Şekil 5.53 : Ortalama konteyner servis kapasitesi açısından kıyaslama.	117
Şekil 5.54 : Vergi öncesi kazanç açısından kıyaslama.	118
Şekil 5.55 : Konteyner servis kapasitesi değişimi (simülasyon 7-10-11).	119
Şekil 5.56 : Ortalama kaynak kullanım oranı değişimi (simülasyon 7-10-11).	119
Şekil 5.57 : Ortalama servis seviyesi değişimi (simülasyon 7-10-11).	120
Şekil 5.58 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 7-10-11).	120
Şekil 5.59 : Taşıma doluluğu odaklı ücret politikası.	121
Şekil 5.60 : Talep dalgalanmalarının kapasite politika seçimine etkisi.	122
Şekil 5.61 : Taşıma maliyet değişiminin taşıma politika seçimine etkisi.	123
Şekil 5.62 : Taşıma maliyet değişiminin kapasite politika seçimine etkisi.	124
Şekil 5.63 : Sipariş ücretlerindeki değişimin kapasite politika seçimine etkisi.	125
Şekil 5.64 : Sipariş ücretlerindeki değişimin taşıma politika seçimine etkisi.	125
Şekil 5.65 : Simülasyon modellerinin kazanç açısından kıyaslaması.	126
Şekil 5.66 : Ortalama konteyner servis kapasitesi.	127
Şekil 5.67 : Politika kümelerinin kazanç değişim yönü.	128
Şekil A.1 : Göbek ve ispit ağına sahip konteyner taşıma zinciri nedensel döngü diyagramı.	144

KONTEYNER KAPASİTE VE TAŞIMA PLANLAMA POLİTİKALARININ SİSTEM DİNAMİĞİ YAKLAŞIMI İLE MODELLEMESİ

ÖZET

Hammadde, yarı mamul ya da ürünlerin depolanması, taşınması, saklanması kullanılan, yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların sürdürülebilirlik açısından önemi günden güne artmaktadır. İlgili ekipmanların sağladığı kazanımlar ile birlikte, işletmeler bu ekipmanların etkin yönetimi ile ilgili birçok problem ve karar süreci ile karşı karşıyadır. Stratejik seviyeden operasyonel seviyedeki karar süreçlerine kadar doğru politikaların üretilmesi ve/veya seçilmesi işletmelere rekabet avantajı kazandıracaktır. Bu yüzden tedarik zincirinde farklı karar hiyerarşilerindeki problemler araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada da göbek ve ispit ağı yapısına sahip konteyner servis sağlayıcılarının, taktiksel karar hiyerarjisi içerisinde yer alan konteyner servis kapasite planlama süreci için kazanç seviyesini en fazla iyileştirecek kapasite ve taşıma politika kümelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Konteyner kapasite planlama sürecinin dinamik yapısı, diğer konteyner yönetim süreçleri ile etkileşim içerisinde olması, bünyesinde birçok geri bildirim döngüsünü barındırması sebebiyle ilgili politika kümesi analizleri için üç ana faz ve altı ana aşamadan oluşan bir sistem dinamiği modelleme yaklaşımı önerisinde bulunulmuştur.

Kapasite ve taşıma planlama süreçlerini barındıran konteyner servis kapasitesi konusu, konteyner sistemi içerisinde birçok alt süreç ile etkileşim halinde olup; çalışma kapsamında konteyner sistemi kavramsal modellemesi nedensel döngü diyagramlarından yararlanılarak; filo planlama, sevkiyat planlaması, sipariş yönetimi, bakım yönetimi ve finansal yönetim süreçlerini içerecek şekilde yapılmıştır. Kavramsal modelleme aşamasından sonra vaka çalışması olarak göbek-ispit ağı dağıtım yapısının yaygın bir şekilde kullanıldığı bir sektör olan otomotiv sektöründe, ana sanayi ve tedarikçisi arasında konteyner akış süreci seçilmiş ve belirlenen amaç doğrultusunda benzetim modellemesi yapılmış ve ardından ilgili modelin gerçek hayattaki sistem davranışlarını yansıtır yansıtmadığının belirlenmesi için model güvenilirlik testleri yapılmıştır.

Simülasyon çalışmaları yardımıyla farklı hedef kapasite oranı, sevkiyat doluluğu, değişime tepki hızı vb. parametrelerin temsil ettiği kapasite ve taşıma politika kümeleri, kazanç oranını en fazla iyileştiren politika kümesini belirlemek amacıyla tekrarlı bir şekilde geliştirilmiş ve analiz edilmiştir. Tekrarlı bir şekilde politika kümesi geliştirme faaliyetleri, çalıştırılan simülasyonlar içerisinde maksimum kazanç elde edilen politika kümesi üzerinden yürütülmüştür. Ardından karar parametrelerinin iyileştirilmesi çalışmaları ile en iyi politika kümesi belirlenmiş ve politika tercihlerinin hangi koşullarda değişeceği duyarlılık analizleri ile belirlenmiştir. Bu yaklaşım sayesinde bütünsel bir bakış açısıyla ve birbiriyle etkileşim içerisinde olan konteyner sistemi süreçlerini içerecek şekilde, kapasite kullanım oranı ve müşteri hizmet seviyesi arasındaki dengeyi sağlayacak politika kümeleri geliştirilmiştir.



THE SYSTEM DYNAMICS MODELLING FOR CONTAINER CAPACITY & TRANSPORTATION PLANNING POLICIES

SUMMARY

The returnable transport equipment/items which are used for storage, transportation and packaging of raw materials, semi-finished products or products increase importance day by day with the development of the concept of sustainability, and companies tend to prefer these equipments instead of expandable packaging because of their economical & environmental aspects. Along with the advantage and acquisition of containers as returnable transport equipments, companies face many issues and problems related to the effective management of the returnable transport equipments from the strategic decision level till operational decision level. Container shipping service providers aim to satisfy and transport containers and/or material requirements of customers at the right time, quality and lower cost with efficient and responsive strategy. To reach competitive business outcomes, they need to develop right policies and make right decisions for container management. Integrated capacity & transportation planning is one of the challenging issues of container management in the tactical level to optimize the conflicted goals as high resource utilization rate and service level under changing conditions. Leveling capacity against demand fluctuation is a complex and difficult problem, because container service capacity process is associated with many sub-process of container systems. While improving the performance indicator of a process, others could be affected. So, evaluating the effect of capacity and transportation policy in integrated manner rather than separately is more accurate to find the policy set for the maximum earnings of the company. The aim of the paper is to determine the capacity and transport policy set that will maximize the earnings with holistic perspective for the container service capacity planning process. The number of available container shipment per defined period is determined by capacity and transportation policy sets for balancing market share and capacity.

A system dynamics modelling approach is proposed for the analysis and selection of the policy set containing capacity and transportation policy. Because the container service capacity planning interacts with the other container management processes, it contains many feedback loops, it has dynamic structure and non linear relationships. The proposed methodology has six main steps. These steps are problem definition, conceptual model development, simulation modelling, model validation testing, scenarion & policy analysis and implementation steps.

According to the proposed methodology, problem statement is defined to find best capacity & transportation policy set of which parameters contains target capacity ratio, shipment planning approach, time to adjust capacity in order to maximize the earnings of the company. The problem is limited to the container service capacity planning problem of container system having hub & spoke network distribution channel. On the second stage, conceptual model is developed by causal loop

diagrams. Container system is classified into six main processes covering container order and shipment management, container service capacity planning, container maintenance and scrap management, warehouse capacity management and financial management processes in the conceptual modelling stage. Conceptual modelling stage shows that there are many reinforcing & balancing loops for the container system. Because it contains so many interlocking loops & complex structure, it is hard to predict system behavior. So the simulation model is developed to analyze system behaviour by utilizing from causal loop diagrams. This step is more case-specific than the previous steps for preparing simulation environment. The container flows between an automobile company and its suppliers, which have hub & spoke network structure is considered for the case study. The simulation development and data collection process is carried out concurrently. Then, the validity and quality of model are checked for model confidence by utilizing some proposed behaviour and structural tests introduced in literature. With the validation tests, it is aimed to evaluate whether the system in the model reflects real world cases, especially impact of the capacity & transportation planning policies on firm performance. The validation tests contain the conceptual hypotheses validation by causal loop diagram, simulation runs in the defined period, extreme conditions test, comparison with well-known conceptualized generic models such as “bullwhip effect” and comparison of some simulation and real case variables.

The container service providers aim to balance the tradeoff between maximization of market share and capacity utilization by leveling container service capacity against demand fluctuation. They apply some capacity and transportation planning policies based on resource utilization rate and/or customer service level. Therefore, in the policy design & analysis stage, some scenarios which include combination of the capacity & transportation policy is created and analyzed iteratively.

First, the capacity leading policy, trailing capacity policy and matching capacity policy as capacity planning policy on demand is analyzed by system dynamics modelling. Company can satisfy sudden demand increases with the leading policy where excess capacity is used or they can use full of capacity with trailing capacity policy where capacity lags demand or they endeavour to match demand capacity and demand closely over time with the matching capacity policy. The simulation shows that capacity leading policy is the policy providing the highest earnings compared to the other capacity policies.

Transportation policies have a significant impact on fleet growth and reduction decision as well as operational costs. Shipment frequency affects container cycle time and container availability in warehouse. Therefore, the effects of late shipment and early shipment policy, which supports efficiency and rapid response strategies respectively in the container shipping process, on capacity planning process and system behavior were examined. In addition to these policies, a hybrid shipping policy including the minimum number of shipments is also simulated and compared with the others. In the early shipment policy, loads are delivered without waiting for the customer to fill the delivery trucks as less truck load in order to respond to the customer quickly. On the other hand, they could wait and delivered for the full truck load until the truck is full in the late shipment policies in order not to cause transportation inefficiency. In addition to these transportation policies, depending on the terms of the agreement between the customer and service providers, a minimum shipment policy may also be applied. In this policy, the loads are delivered with a minimum number of scheduled shipments, whether full truck load is provided within

the relevant time frame. These transportation policies are simulated under capacity leading policies, which has highest earnings in the first scenario studies. The simulation studies show that late shipment policy increases sales losses due to customer service level and container investment costs due to prolonged container cycle time although full truck loading provides efficiency in the transportation. And it provides lower earnings than other shipment policies. Early shipment is the most powerful transportation policy among them. The early shipment policy provides to increase customer satisfaction level and decrease loss of sales. Moreover, the container investment requirement decreases with the decrease in the container cycle time.

Companies have different reaction time to change for some reasons such as information delays, their perceptions or stock review period when implementing capacity planning policies. Some container service providers have high sensitivity to change, they take action faster and radically, and they have short stock review period to adjust their stock or capacity. On the other hand, the others have long stock review period and they have low sensitivity to change. These behaviours or approaches of the company could change container service capacity planning policies under the demand fluctuation. So, the parameters of time to adjust are investigated whether it makes significant difference on the earnings of the firms in the third scenario studies. The capacity leading policy has better earnings under longer adjust time compared to shorter adjust time according to the simulation results. On the other hand, matching capacity policy has better earnings under shorter adjust time. These simulation results provide to claim that although capacity leading policy with the defined target capacity ratio is most powerful policy, there is opportunity to improve the resource utilization rate in the simulation in which capacity leading policy is applied. The target capacity ratio could be reduced in a certain level to eliminate over stock for fleet capacity. Therefore, the maximum earnings is found by reducing target capacity ratio iteratively.

According to the iterative simulation approach, capacity leading policy with early shipment is the best policy set for the highest earnings. And the inefficiency in transportation can be improved with a stimulating pricing strategy and collaboration, so the customer is willing to order full truck containers. The total supply chain cost could be reduced with this strategy by eliminating transportation inefficiency.

In conclusion, a methodology based on system dynamic is proposed to analyze the policy sets occurring from capacity & transportation policy combinations, which aims to provide maximum earnings in the hub-spoke network structure of container system. The methodology is applied to an automotive container supply chain as a case study. As future works, the proposed methodology can be used in policy analysis in other sectors with a container supply chain having a hub-spoke network structure, or it can be used as a new policy development tool. Within the scope of the study, container service capacity modeling was carried out by considering only the container system with hub and spoke network structure, the complex network structure is also widely preferred in the automotive industry and different industries. So the conceptual modelling may be extended to complex network structure. Although this study includes capacity and transport planning process and other interacting critical processes, the model can be expanded to cover distribution network planning processes at strategic level.



1. GİRİŞ

İşletmeler, rakiplerine göre rekabet avantajı sağlamak ve müşteri memnuniyet seviyesini artırmak için talepleri zamanında, doğru miktarda ve kalitede karşılamak zorundadır. Artan rekabet ortamında ürün maliyet bileşenlerinin iyileştirilmesi konusunda oyun sahası daralmakta olup; ürünlerin depolanması ve taşınması gibi lojistik aktivitelerin oluşturduğu maliyetler daha da önemli bir hale gelmektedir.

Tedarik zincirinin ekonomik ve sürdürülebilirliği açısından paketleme daha da önemini artırmakta olup; paketleme yalnızca ürünleri fiziksel hasarlamaktan korumakla kalmaz, aynı zamanda taşımacılık, yük elleçleme, depolama, ayık imhası ve bilgi yönetimi gibi lojistik aktivitelerin maliyetlerini de etkilemektedir (Kim ve diğ., 2014). Özellikle tedarik zincirinin farklı basamaklarında ürün taşımak için kullanılan yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanlar, işletmelere birçok avantaj sağlamaktadır. Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman kullanmak; paketleme malzemesini ve atıkların azaltılması, ürün güvenliği ve korunması süreçlerinin iyileştirilmesi, elleçleme sürecinin ve metre küp doluluğunu daha etkin hale getirilmesi, dış kaynak kullanımı ve standartlaşma için yeni fırsatların elde edilmesi, paketleme malzeleleri yaşam döngüsünde karbondioksit salınımının azaltılmasını sağlamaktadır (Hekkert ve diğ., 2000; Hellström, 2009; Hellström ve Johansson, 2010; Malecki ve Reimche, 2011).

Ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlardaki birçok sunduğu avantajlar, bu ekipmanların farklı sektörlerde yaygın bir şekilde tercih edilmesini sağlamıştır. İşletmeler; kendi temel uzmanlık alanları ile ilgili faaliyetlere yoğunlaşmak ve/veya ölçek ekonomisinin getirilerinden yararlanmak için yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman yönetimi ile ilgili faaliyetler konusunda dış kaynak hizmeti alabildikleri gibi, ilgili süreçleri kendi organizasyonları içerisindeki ekip ya da birimler ile yönetebilmektedir. Her iki organizasyonda da, yeniden kullanılabilir taşıyıcı yönetimi ile ilgili bir çok problem ve/veya karar süreci ile karşı karşıyadır.

Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman havuzu yöneten konteyner servis sağlayıcılar ile tedarikçi/müşteri bünyesindeki iadeli taşıyıcı yönetim faaliyetlerini yürüten birimler, müşterilerinin taşıyıcı ve/veya malzeme ihtiyaçlarını, verimlilik ve hızlı cevap verme stratejileri doğrultusunda zamanında, istenen kalitede ve düşük maliyet ile karşılamayı amaçlar. Değişen koşullar altında birbiri ile çelişen hedefler olan yüksek kapasite kullanım oranı ve servis seviyesi ödünleşme noktasının bulunması işletmeler için karmaşık ve zor bir problemdir.

İşletmelerin rekabetçi iş çıktılarına ulaşmaları için yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman yönetim sürecinde stratejik seviyeden operasyonel seviyeye kadar birçok konuda doğru karar ve politikaları uygulamaları gerekmektedir. Yayın taraması incelendiğinde, yoğunluklu olarak operasyonel ve stratejik karar süreçlerine odaklanıldığı görülmüştür. Taktiksel karar süreçleri içerisinde konteyner servis kapasite planlaması, birden fazla etkileşimli süreci bünyesinde barındırması sebebiyle, yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman yönetiminin zorlu konularından biridir. Bu alanda pazar payı ile kaynak verimliliği arasındaki ödünleşmenin sağlanması için kapasite ve taşıma planlama konularındaki problemlerini ayrı ayrı ele alan birçok çalışma mevcut olsa da, filo ve taşıma kapasite planlamasının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Her iki süreci de bütünsel bir şekilde inceleyen araştırmacılar olmasına karşın ilgili analiz çalışmalarında talep yönetimi, depo operasyonları yönetimi, sevkiyat süreci, filo planlama, ıskarta ve bakım süreçlerinden bir ya da birkaç sürece odaklanılmıştır. Ancak bütünsel bakış açısıyla birbiri ile etkileşim içerisinde olan bu konteyner yönetim süreçlerini içerecek şekilde analiz çalışmalarını gerçekleştirmek sistem davranışının toplam etkiyi göstermesi açısından daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bunun ile birlikte gerçek yaşam döngüsünün yansıtılmasında filo büyüme yanından filo küçülme politikalarının da modelleme içerisinde yer alması faydalı olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, konteyner taşıma zinciri servis kapasite planlama süreci için bütünsel bir bakış açısı ile konteyner kapasite ve taşıma planlama politikalarının etkilerini değerlendiren, sistem dinamiğine dayalı bir metodoloji sunmaktır. Çalışma kapsamında talep yönetimi, depo operasyonları yönetimi, sevkiyat süreci, filo planlama, ıskarta ve bakım süreçlerini barındıran bir kavramsal ve benzetim modelleme çalışması yapılmıştır. Özellikle değişen koşullar altında kapasite ve taşıma politika kombinasyonlarından oluşan politika kümelerinin kazanç üzerindeki

etkisi araştırılmış ve iteratif olarak yapılan simülasyon çalışmaları ile ekonomik açıdan en avantajlı politika kümesi tespit edilmiştir ve politika önerilerinde bulunulmuştur.

Bir konteyner sistemi düşünüldüğünde konteyner servis kapasite planlama süreci; sipariş yönetimi, taşıma yönetimi, depo yönetimi, bakım yönetimi ve finansal yönetim süreçleri gibi alt süreçler ile etkileşim halinde olan bir süreçtir. Bu nedenle, birçok faktörün neden olduğu doğrusal olmayan, karmaşık ve çoklu ilişki döngüsünü içerir. Konteyner taşıma zincirinde doğru stratejinin uygulanması için bu karmaşıklığın karar vericiler ve paydaşlar tarafından anlaşılması önemlidir (Toukan ve Chan, 2018). İlgili süreç, yapısı itibari ile zaman bağlı olarak değişkendir ve birçok geri bildirim sürecini bünyesinde barındırır. Yayın taramasında, tedarik zincirinin karmaşık ve dinamik problemlerinin incelenmesinde yaygınca benzetim modellemesinin kullanıldığı görülmüştür. Bu sebeple, bütünleşik kapasite ve taşıma planlama sürecinde verimlilik ile hızlı cevap verme stratejilerinin finansal etkilerinin analizi için benzetim modelleme tekniğinden yararlanılmıştır.

Konteyner sisteminin karmaşıklığı, dinamikliği, doğrusal olmayan ilişkiler ile geribildirimli süreçleri bolca barındırması sebepleriyle birlikte; sistem dinamiği yaklaşımının bu konulardaki yetkinlikleri de dikkate alınarak ilgili strateji ve politikaların modellenmesi için sistem dinamiği modellemesine dayalı bir metot önerilmiştir.

Bu çalışma, giriş bölümünden sonra 5 bölümden oluşmaktadır. Bir sonraki bölümde araştırmanın konusunu oluşturan konteyner sistemi ve yönetimi ile ilgili genel tanım ve kavramlara yer verilmiştir. Çalışma kapsamının konteyner ağ yapıları arasındaki yerinin anlaşılabilmesi için farklı ağ yapıları açıklanmış ve konteyner yönetimi ile ilgili problem ve karar hiyerarşilerine yer verilmiştir. Bunun ile birlikte vaka çalışmasında uygulama olarak seçilen süreç olan otomotiv sektöründeki konteyner akış döngüsü ve çeşitleri hakkında bilgi sunulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise ilk olarak yeniden kullanılabilir taşıyıcı yönetimi konularında kullanılan karar destek sistemlerinin sınıflandırılması paylaşılmıştır. Sonrasında amaçta ortaya konan probleme yaklaşım metodu olarak belirlenen benzetim yönteminin hangi tedarik zinciri problemlerinin modellenmesinde kullanıldığı araştırılmıştır. İki ana benzetim yöntemi olan kesikli olay simülasyonu

ve sistem dinamiği simölasyon modelleme tekniklerinin hangi tedarik zinciri problemlerinin incelenmesinde tercih edildiği sorusuna cevap aranmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde konteyner servis kapasite planlama sürecinin modellenmesi için önerilen sistem düşünüşü ve sistem dinamiği modelleme yaklaşımının tanımı, sistem dinamiği yapısı ve ilgili yaklaşımın adımları kavramsal olarak açıklanmıştır. Kavramsal modelleme aşamasında kullanılan nedensel döngü diyagramlarının yapısı ve içeriği hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise göbek ve ispit ađ yapısına sahip konteyner taşıma zincirinin servis kapasite planlama süreci, sistem dinamiği metodolojisi ile incelenmiştir. Metodolojinin ilk adımı olarak problem tanımı netleştirilmiş ve ardından sürecin nedensel döngü diyagramları yardımıyla kavramsal modellenmesi yapılmıştır. Ardından kavramsal modelleme çalışması farklı sektörlerdeki konteyner akışını da temsil etmekle birlikte; modelin işlevselliğinin değerlendirilmesi için otomotiv sektörü konteyner sistemi vaka çalışması olarak sečilmiřtir. Bu sektörün vaka olarak sečilmesinin sebebi, yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların sağladığı kazanımlar dolayısı ile bu endüstride yaygınca kullanım alanına sahip olmasıdır. Rekabetçi avantajından ve ölçeklendirilebilir olmasından sebebiyle, göbek ve ispit ağı yapısına sahip bir otomotiv konteyner taşıma zincirinde konteyner kapasite planlama politikası seçimi için benzetim çalışması yapılmış. Model güvenilirlik analizleri sonrasında da politika analizleri ve duyarlılık analizleri gerçekteştirilmiştir.

Sonuç bölümünde ise çalışmadaki bulgular ve sonuçlar özetlenmiştir. Bunun ile birlikte çalışma kapsamının kısıtlamaları paylaşılmış ve buna istinade gelecek çalışma önerilerinde bulunulmuştur.

2. KONTEYNER YÖNETİMİ

Bu bölümde konteyner servis kapasite planlama sürecinin daha iyi anlaşılması için konteyner taşıma zinciri, konteyner sistemi ve konteyner yönetimi konuları ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Öncelikle yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman kavramı ve tipleri ile özellikleri açıklanmıştır. Sonrasında çalışmada odaklanılan göbek ve ispit ağ yapılarının; diğer konteyner ağ yapıları arasındaki yeri açıklanmıştır. Konteyner yönetimi içerisinde farklı hiyerarşik seviyelerdeki karar konuları paylaşılmıştır. Bölüm 2.3’de ise detayları yayın taraması bölümünde paylaşılmak üzere konteyner yönetimi içerisinde farklı hiyerarşik seviyelerdeki karar konuları paylaşılmıştır. Bu bölümün son kısmında da vaka olarak seçilen otomotiv sektöründe kullanılan konteyner tipleri ve konteyner akış süreçleri hakkında bilgi paylaşımı yapılmıştır.

2.1 Yeniden Kullanılabilir Taşıyıcı Ekipman ve Konteyner Kavramı

Yüklerin taşınması, depolanması veya işlenmesi için farklı yük taşıyıcıları olmak ile birlikte çalışma kapsamında ifade edilen yeniden kullanılabilir/iade edilebilir/iadeli nakliye ekipmanlar (returnable transport items); Krudewig (2015)’in de çalışmasında tanımladığı anlamda, yapısında bir değişiklik yapmadan tekrar tekrar yük taşımak için kullanılabilen varlıkları ifade edecek şekilde kullanılmıştır.

Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman (RTE/RTI) kavramı, ISO’ya göre “Tedarik zincirinde nakliye, depolama, elleçleme ve ürünleri korumak için malları bir araya getirmek için birden fazla kullanılabilen; depozitolu olan ya da olmayan paletlerin yanı sıra her türlü yeniden kullanılabilir sandıklar, tepsiler, kutular, rulo paletler, variller, el arabaları, palet yakaları ve kapakları vb. tüm araçları” ifade eder. İlgili ekipmanları, Twede (1992) ve Duhaime ve diğ. (2001); malları, tedarik zinciri boyunca koruduğu için lojistik ambalaj veya tedarik zinciri ambalajı olarak adlandırmıştır (Aggarwa, 2014’da atıfta bulunduğu gibi). Tez kapsamında; yeniden kullanılabilir, iadeli, iade edilebilir nakliye ekipman ve konteyner kavramları aynı kavramı ifade etmek için kullanılmıştır. Karayolu, demir ve deniz yolu taşımacılığında kullanılan konteynerler, yeniden kullanılabilir palet, tanklar ve

variller bu nakliye ekipmanlarına örnek gösterilebilir. İlgili ekipmanların döngüsü genel olarak dağıtım merkezinden başlar ve bu merkezde sonlanır (Aggarwa, 2014). Tedarik zinciri içerisinde dolaşan bu ekipmanlar; tekrar tekrar yükler ile doldurulur, kullanım sonrası boşaltılır, gerekli ise temizlenir ve/veya tamir edilir ve depolanır. Buna karşılık yine yük taşınması, depolanması ve/veya işlenmesi için kullanılan nakliye kalemleri olan, geri dönüşüm yolu ile tekrar kazanılan nakliye kalemleri ve tek kullanımlık iade edilemez nakliye kalemleri yukarıdaki tanımın dışında tutulmuştur.

Bir başka tanıma göre konteyner; “Yüklerin daha büyük birim miktarlarda taşınmasını sağlayan, standart boyutlu, prizmatik ve tamamen kapalı, yükleri içinde bulunduran, bir nakil vasıtasından diğerine aktarılabilen ve bu vasıtalarla kolayca ayrılabilen, yüklenmiş durumuyla “birim yük” vasfına sahip, büyüklük ve teçhizat bakımından mekanik yüklemeye elverişli, tekrar kullanılabilir taşıma kaplarıdır” (MEB, 2011).

Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanlar, tedarik zinciri süreçlerine etkin bir şekilde entegre edildiklerinde verimliliği artıran birçok işleve sahiptir. Ürünlerin taşınması, saklanması, depolanması, elleçlenmesi; bu ekipmanların ilk işlevleri arasında sayılabilir. İkinci olarak; ürünlerin dış ortam şartlarına karşı korunmasını ve sağlam bir paketlenme şekli ile hareket ettirilebilmesi sağlar. Üçüncü olarak, tek yönlü/tek kullanımlık ambalajlarla rekabet edebilmek amacıyla, bu ekipmanlar mevcut lojistik sistemleriyle uyumlu şekilde tasarlanarak verimli geri dönüşler sağlanır (Aggarwa, 2014). Prendergast (1995)’ın da çalışmasında belirttiği gibi özellikle çevresel kaygıların artması ile birlikte bu konu daha da önemli hale gelmiştir. Tedarik zinciri süreçleri sırasında malzeme taşıma verimliliği; ambalaj tasarımı, grupaj taşımacılık ve iletişim özelliklerinden büyük ölçüde etkilenir. Endüstriyel ambalajın ağırlığı, hacmi ve kırılabilirliği; nakliye ve malzeme taşıma gereksinimlerini ve genel lojistik sistem performansının verimliliğini belirler (Bowersox ve diğ., 2012). Ayrıca Dejax ve Crainic (1987), Bandeira ve diğ. (2009) çalışmalarında belirttiği gibi konteynerizasyon ile birlikte; standartlaştırma, intermodal taşımacılık için elleçleme kolaylığı vb. avantajlar da sağlanabilmektedir. (Yur 2011’de atıfta bulunulduğu gibi).

Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların kazandırdığı faydalar ile birlikte, işletmelere konteyner yönetimi ile ilgili birçok konuda problem ve karar süreci getirmektedir.

Konteyner yönetimi; tedarik zinciri içerisinde yeniden kullanılabilir nakliye ekipmanlarının satın alımından, kullanımı ve elden çıkarımına kadar varlık ve varlıklara ait bilgilerin organizasyon ve koordinasyon sürecini kapsamakta olup; filo büyüklüğünün ve konfigürasyonlarının belirlenmesi, filo atama, filo genişletme/daraltma, dış kaynak kullanımı, dağıtım ağı tasarımı ve araçların lojistik ağı üzerinde yeniden konumlandırılması gibi birbiri ile ilişkili çok sayıdaki karmaşık problemleri içermektedir. Karar vericiler açısından filo yönetimi karar hiyerarşisinde yer alan filo genişletme/daraltma kararlarına ilişkin yatırımlar, ekipmanların faydalı kullanım oranları, müşteri servis düzeyleri ve toplam taşımacılık maliyetleri birbiri ile çatışan hedeflerdir (Baykasoğlu ve diğ., 2018). Bu çatışan hedefler arasında değişkenlik faktörü de dikkate alındığında ödünleşme noktasının bulunması zor hale gelmektedir.

Toukan ve Chan (2018) çalışmalarında da ifade ettiği gibi tedarik zinciri boyunca konteyner hareketi; farklı paydaşları ve farklı süreçleri içeren alt sistemler arasındaki etkileşime ihtiyaç duymaktadır. Bir konteyner yolculuğu; konteyner terminali, gümrük, denetim yetkilileri, gemi acenteleri, nakliyeciler gibi grup ve paydaşlar arasında etkileşime yol açmaktadır. Bu etkileşimler konteyner tedarik zinciri karmaşıklığını artıran unsurları barındırmaktadır. Sistem içerisinde yer alan karar vericiler, yatırımcılar ve tüm paydaşlar için bu karmaşıklığın algılanması artan rekabet ortamında daha önemli hale gelmektedir (Toukan ve Chan, 2018). Sistem içerisinde yer alan alt sistem ya da fonksiyonları ayrı ayrı düşünmek yerel optimuma ya da daha kötü bir sonuca ulaşılmasına sebep olabilmektedir (Ng & Lam, 2010).

2.2 Konteyner Özellikleri ve Çeşitleri

Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman olan konteynerler, kullanım amacı ve yapılarına göre farklı özelliklere sahiptir. Bu bağlamda en önemli özellikleri, şu şekilde sıralanabilir (Krudewig, 2015):

- Kapasite, örneğin taşıyabileceği en fazla hacmi veya ürün ağırlığı,
- Depolama veya yükleme cihazları ve taşıma araçları ile uyumluluk,

- Farklı yükler için uygunluk,
- Satın alma ve bakım maliyetleri,
- Dayanıklılık,
- Temizlik ve bakım için zaman ve efor,
- Diğer konteyner tipleri ile ikame edilebilirliği.

Konteynerlerin alımı ve dağıtımı planlanırken bu özellikler dikkate alınmaktadır.

Artan yük trafiği ve çeşitliliği ile birlikte farklı yük içeriğine ve taşıma şekline uygun birçok konteyner çeşidi tasarlanmıştır. Farklı sektörlerde ihtiyaca göre farklı konteyner tipleri kullanılabilmektedir. Uluslar arası yük taşımacılığında standart belirli konteyner tipleri kullanıldığı gibi; ürünleri ya da bileşenleri muhafaza etmek için paketlenme amacı ile kullanılan ölçü olarak daha küçük boyutlara sahip konteynerler de mevcuttur. Yükün; kaba taşıma, nem, sıcaklık değişimi gibi çevresel etkilerden korunması ve konteynerin taşınabilmesi, depolanabilmesi, malların yükleme/boşaltma işlemleri konteyner seçiminde etkili olan unsurlar arasındadır (MEB, 2011).

Uluslararası taşımacılıkta kullanılan konteyner çeşitlerini, MEB (2011) yapımlarında kullanılan malzeme ve kullanım şekline göre iki sınıfa ayırmıştır.

Çelik sac, alüminyum ve kontrplak gibi çeşitli malzemelerden yapılmış konteynerler, kullanılan malzemeye göre konteyner çeşitlerine örnek gösterilebilir.

Çok yaygın bir kullanım alanına sahip çelik saclı konteynerler (Şekil 2.1), maliyetlerinin diğer konteyner tiplerine göre düşük olması ve onarımlarının kolay olmasından dolayı tercih edilmektedir. Buna karşılık; dara ağırlığının yüksek olması, korozyona dayanımının düşük olması ve temizleme problemi gibi dezavantajları mevcuttur.



Şekil 2.1 : Çelik-sac konteyner (MEB, 2011).

Alüminyum konteynerlerin (Şekil 2.2) tara ağırlığı düşük olması karşın malzeme maliyetleri yüksektir. Ayrıca dayanıklılığının da zayıf olması, bu tip konteynerleri dezavantajlı hale getirmektedir.



Şekil 2.2 : Alüminyum konteyner (MEB, 2011).

Kontrplak konteynerler (Şekil 2.3), pürüzsüz yüzeye sahip oldukları için kolay temizlenebilir özelliktedir. Ayrıca darbeye dayanıklı olmaları ve kolay onarılabilmeleri de avantaj yaratan özellikleri arasındadır. Maliyet açısından orta düzeyde olup, orta tara ağırlığına sahiptir. Duvar kısımları, fiber glas ve plastik materyal ile güçlendirilmiş kontrplaktan yapılmış olduğu için bu şekilde adlandırılmışlardır (MEB, 2011).



Şekil 2.3 : Kontrplak konteynerler (MEB, 2011).

Kullanım şekillerine göre ise uluslar arası taşımacılıkta konteynerler şu şekilde sınıflandırılabilir (MEB, 2011):

- Parça (kuru) yük konteynerleri
- Dökme yük (bulk) konteynerleri
- İzole (insulated) konteynerler
- Özel amaçlı konteynerler

Parça (kuru) konteynerleri kuru yük taşımaya elverişlidir. Genel olarak dört tarafı kapalı ve kapılı konteyner tipidir. Üstü ve yanları açık olan tipleri de mevcuttur.

Dökme yük konteynerleri (Bulk container) dökme yük olabilecek buğday, arpa, yağlı tohumlar gibi taneli ürünlerin taşınmasında veya sıvı dökme yüklerin tank şeklinde taşınmasında kullanılmaktadır.

İzole (İnsulated-Reefer) konteynerler yalıtımlı olup soğutulmuş ya da dondurulmuş yüklerin taşınması için kullanılmaktadır. Sefer sırasında taşındığı araçtan aldığı enerji ile yükün sıcaklığı istenen seviyeye getirilir.

Özel amaçlı konteynerler ise belirli bir amaç için tasarlanmış ya da üretilmiş konteynerlerdir. Genel olarak 20 feet ve 40 feet olmak üzere iki ayrı ebat olarak kullanılmaktadır. Kullanım şekline bağlı olarak üstü açık, kapalı, düz, izole, dökme yük, tank, havalandırılmalı tipleri de mevcuttur.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, uluslararası konteyner çeşitleri dışında; paketleme amaçlı kullanılabilen standart ya da standart dışı konteyner çeşitleri de mevcuttur. Otomotiv sektöründe kullanılan bazı örneklerle Bölüm 2.6'da yer verilmiştir.

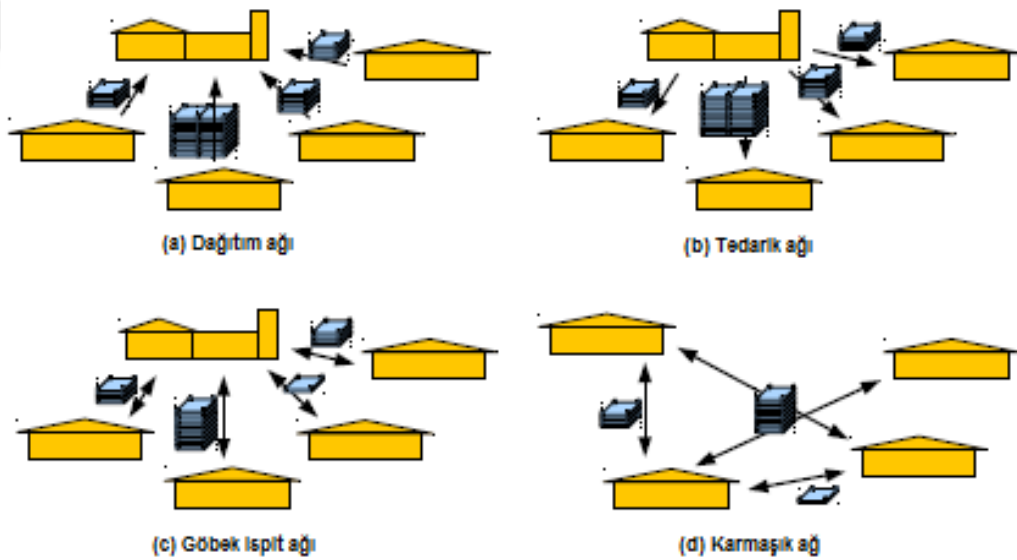
2.3 Konteyner Ağ Yapıları

Yeniden kullanılabilir taşıyıcılar/konteynerler; tek kullanımlık ya da tek yönlü konteynerlerden farklı olarak, ömürlerine göre bir defa kullanıldıktan sonra tekrar kullanılabilir durumda olmaktadır. Bu nedenle bu tip konteynerler tekrar kullanılacak bölgeye taşınması, temizlenmesi veya tamir edilmesi gerekmektedir. Konteynerlerin yüklendiği, boşaltıldığı ya da belirli bir zaman boyunca bekletildiği konumlar/lokasyonlar bir ağ yapısı oluşturmaktadır. Ağ yapısı içerisinde yer alan düğümler ise taşıma rotaları ile birbirine bağlıdır. Bu ağ düğümleri kümesi, düğümlerin bağlantıları ve konteyner hareketleri konteyner sistemini oluşturur (Krudewig, 2015).

Konteyner akışındaki konum, taşıma modu, farklı tekarikçi ve müşteri kullanım durumu, kapasite, maliyet ve taşıma süresine bağlı olarak farklı ağ yapıları mevcuttur. Farklı ağ yapısı tipleri Şekil 2.4'de paylaşılmıştır.

Yüklerin; boş olarak geri gönderilmesi gereken konteynerler ile taşındığı akış tipi *dağıtım ağı* yapısına sahiptir. Bu ağ yapısında konteynerler yüklü bir şekilde merkezi

bir depodan dağıtıldıktan sonra gittikleri konumda boşaldıktan sonra geri toplanabilir ya da geri toplanabilir konumdadırlar. *Tedarik ağı* ise dağıtım ağının zıttı konumunda olup, yüklü konteynerlerin tek bir depoda toplandığı akışı içermektedir. Bu ağ yapısında ise tek bir depoda toplanan yüklü konteynerler boşaltıldıktan sonra boş konteynerler geri toplanarak farklı depolara gönderilir. *Göbek ve ispit ağı* yapısında ise yükler merkezi bir noktadan yönlendirilir. Yani konteyner akışı merkez noktadan uyduya çift yönlü olarak olabilmektedir. Tek bir konteyner havuzunda tutulduğu, talep edildiğinde gönderilip, boşaldığında ise geri döndüğü ağ yapısı da göbek ve ispit ağına örnektir. *Karmaşık ağ* yapısı; konteyner akışlarının belirli bir yapıyı izlemeyip, tüm düğümler arasında rasgele dolaştığı ağ yapısıdır (Krudewig, 2015).



Şekil 2.4 : Konteyner taşıma zinciri ağ yapısı (Krudewig, 2015).

2.4 Konteyner Yönetim Sistemi Kararları

Yüklerin istenen zamanda, istenilen kalitede ve düşük maliyette taşınmasını sağlamak amacıyla konteyner sistemi tasarımı ve yönetimi için farklı detay seviyelerinde farklı karar süreçleri mevcuttur. Konteyner yönetimi ile ilgili karar konuları, üç ana karar seviyesinde sınıflandırılabilir.

Uzun dönemli stratejik planlama evresi için ağ yapısı tipi, ağ yapısı içerisinde düğüm sayısı ve bölgeleri tanımlanır. Bu tanımlama yapılırken depo noktalarının nerede ve nasıl olacağı, temizleme ve tamir operasyonlarının nerede yürütüleceği belirlenmelidir. Bunun ile birlikte; konteyner en düşük maliyet ile taşıma, hareket,

elleçleme ve depolama için gerekli kapasiteyi sağlamak amacıyla taşıma tipi ve düğümlemler arası bağlantı noktaları seçilmelidir.

Orta dönemli taktiksel seviyede; konteyner tipi ve adedi önemli karar konularıdır. Bu kararlar; depolanabilecek, taşınabilecek ve/veya üretilebilecek yük miktarını belirler. Diğer bir ifade ile bu kararlar; kapasite planlama kararlarıdır. Bu kararlar istenen servis kalitesine ulaşırken maliyeti minimize etme açısından önemlidir. Mülkiyete alınacak ve kiralanacak konteyner sayısı bu seviyede belirlenmektedir.

Kısa dönemli operasyonel seviyesinde ise konteyner dağıtımını organize edilmekte ve taşıma planlaması yapılmaktadır. Taşınacak yükün dağıtım planına bağlı olarak konteyner hareket kararları verilir. Araç kapasiteleri ve taşıma frekansı belirlenir.

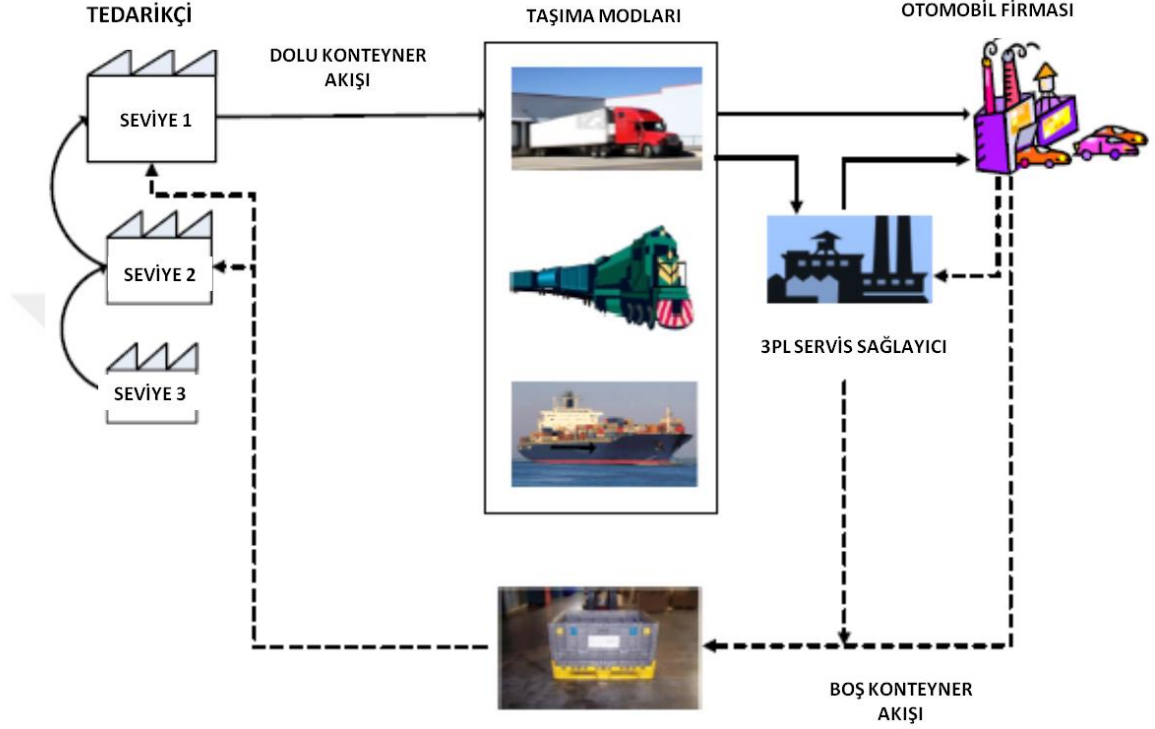
Konteyner yönetim sistemi ile ilgili yapılan çalışmalar, odaklanılan problem ve karar süreçlerine Bölüm 3.1’de yer verilmiştir.

2.5 Otomotiv Sektöründe Konteyner Filo Yönetimi ve Operasyonları

Genel olarak tipik bir otomotiv tedarik zincirinde, yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman olan konteynerler; boşaltma deposundan tedarikçiye gönderilir ve burada otomobil parçaları ve bileşenleri imalatçının montaj hattına gönderilemek üzere konteyner içerisine doldurulur. Konteyner içerisinde yer alan parçalar tüketildikten sonra, boş konteyner depoya gönderilir. Genellikle bu süreç üçüncü parti lojistik (3PL - Third Party Logistics) firması vasıtası ile yürütülür. Burada konteynerler sınıflandırılır, temizlenir, ihtiyaç halinde bakımları yapılır ve ardından tedarikçiye gönderilmek üzere hazır hale getirilir (Lunani & Hanebeck, 2008). Şekil 5.2’de otomotiv sektöründe tedarikçiler ile ana sanayi arasındaki genel konteyner akış süreci paylaşılmıştır.

Otomotiv tedarik zincirinde yeniden kullanılabilir ya da iadeli konteyner sistemi, otomobil üretim sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Orijinal ekipman tedarikçisi (OES) ve orijinal ekipman üreticisi arasındaki kapalı döngüde yük akışının verimli şekilde yürütülmesini sağlar. Araç montajı sırasında, OES veya 3PL kaynaklarından gelen bileşenler, pahalı ve özel konteynerler ile OEM montaj hattına taşınır. Boşalan konteyner ardından tekrar tedarikçiye geri döndürülür ve bu çevrim ilgili araç programı için tekrarlanır. Bazen navlun maliyetlerinin en aza indirmek için, boş konteyner milkrun dönüşlerinin konsolidasyonu için stratejik olarak bir konteyner

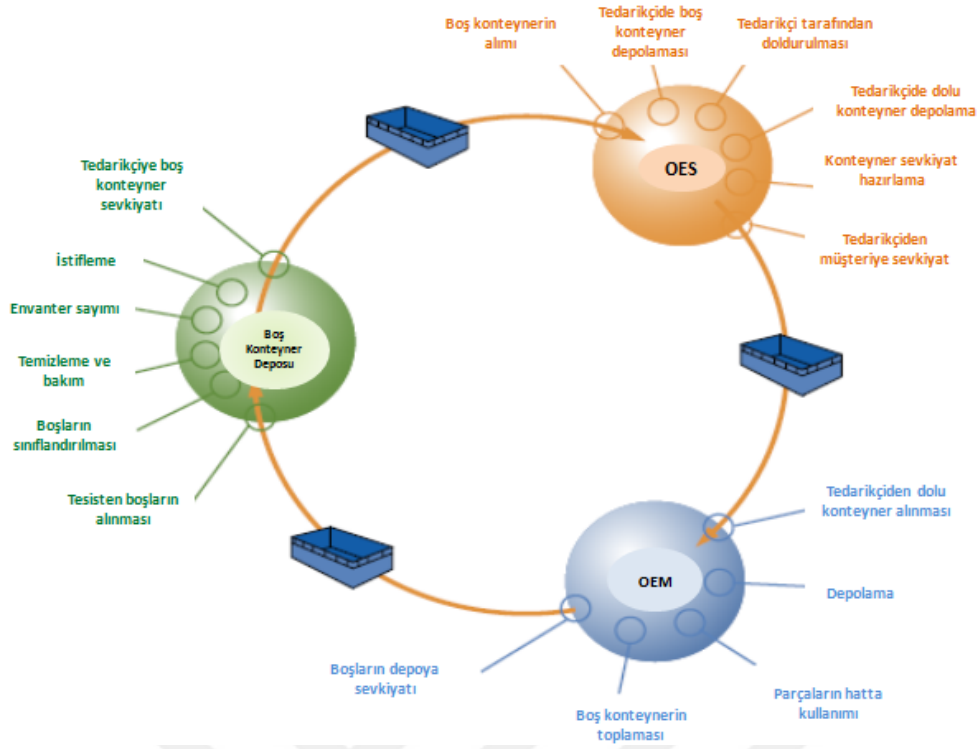
yönetim merkezi OES ya da OEM yakınlarına konumlandırılabilir. Örneğin, boş konteynerler farklı OEM ya da OEM tesislerinden günlük olarak konteyner yönetim merkezine toplanabilir. Belirli bir OES için tam kamyon yükü biriktikten sonra, teslimat planlanır. OES-OEM tedarik zincirindeki stratejik ya da taktiksel politikaya göre dağıtım frekansı belirlenebilir (Ijumba, 2012).



Şekil 2.5 : Otomotiv tedarik zinciri konteyner akışı (Ijumba, 2012).

Bir aracın ürün yaşam döngüsü sonlandığında ya da model olgunlaşmasına bağlı model yükseltilmesi geldiğinde; yeni araç ya da modeller için parça tasarımlarına bağlı olarak yeni konteyner yatırımı ihtiyaçları olabilmektedir (Ijumba, 2012). Konteyner tasarımlarının, farklı parçaları taşıyabilecek şekilde yapılması yatırım maliyetlerinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Eğer parçaya özgü bir konteyner tipinin tasarlanması gerekiyorsa, konteyner filo büyütme kararları açısından yatırımın geri dönüş süreleri önemli hale gelmektedir.

Konteynerlerin, konteyner deposundan başlayıp, depoya döndüğü sürece “konteyner çevrimi” adı verilir. Konteyner çevrim sürecinde ilgili ekipman Şekil 2.6’de yer alan işlemlere maruz kalır.

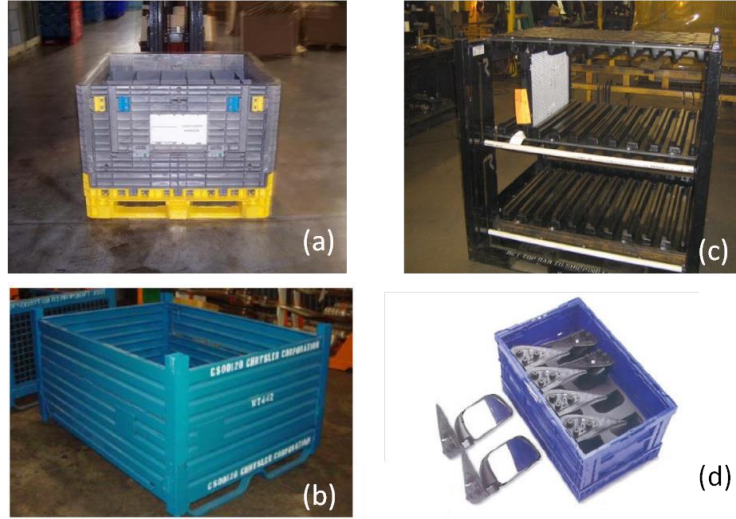


Şekil 2.6 : Konteyner operasyon döngüsü (Lunani & Hanebeck, 2008).

Otomotiv sektöründe otomobil parçalarının boyut, ağırlık, tasarım ve biçimsel özelliklerine göre farklı ölçü ve malzemeden oluşan birçok konteyner tipi kullanılmaktadır. Parça ve/veya komponentleri taşımak için parçaya özgü tasarıma sahip spesifik taşıyıcılar ya da birçok parçanın yığma bir şekilde taşınabildiği standart taşıyıcılar kullanılabilir. Bazı örnekleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

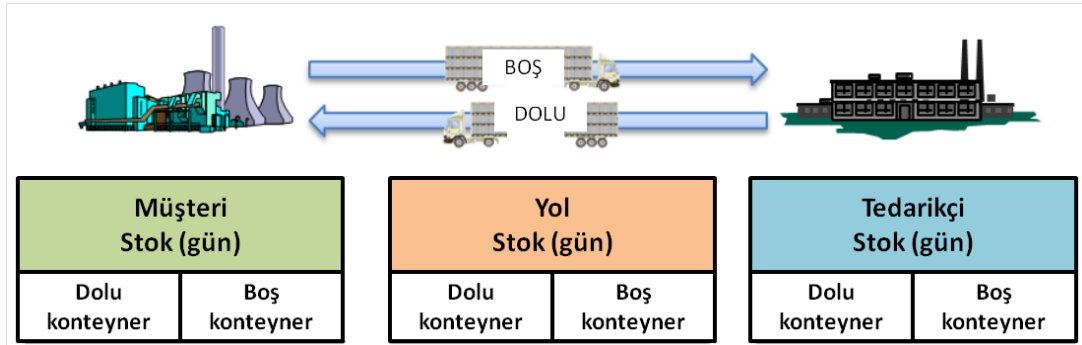
Standart plastik ve metal taşıyıcılarda dökme ya da istiflenerek taşınabilecek otomobil parçaları yüklenir. Ağır malzemeler dayanıklı olması sebebiyle metal taşıyıcılar yardımıyla taşınırken, hafif malzemeler ise plastik taşıyıcılar yardımıyla taşınmaktadır. İlgili ekipmanlar; bir çok tedarikçiden farklı parça çeşitlerini toplamak için yaygın bir şekilde kullanılan konteyner tipidir. Özellikle standart ölçüleri ve üst üste istiflenebilme özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir.

Spesifik metal taşıyıcılar ise belirli bir forma sahip, kalitesel anlamda taşıma sırasında riskli, dökme şeklinde taşımanın uygun olmadığı, ölçü bakımından standarta taşıyıcılara sığmayan parçaların taşınmasında kullanılan konteynerlerdir. Bu konteynerler, parçaya özgü bir şekilde tasarlanmakta olup, yalnızca o parça formuna benzer nitelikteki yüklerin taşınabilmesi için kullanılır.



Şekil 2.7 : (a-d) Standart plastik, (b) metal, (c) spesifik metal taşıyıcı.

Konteyner çeşidinin seçiminin yanında; müşterileri taleplerini zamanında karşılamak ve en uygun kaynak verimliliğini sağlamak için konteyner servis kapasitesinin ve buna bağlı olarak filo büyüklüğün belirlenmesi önemli bir problemdir. Farklı sektörlerde konteyner filo büyüklüğü ve stok seviyesi için farklı ölçüler kullanılabilmekte olup; otomobil sektöründeki parça ve komponent taşıyıcıları için her bir lokasyonda boş veya dolu olarak geçirdikleri zaman dikkate alınarak tanımlanır (Şekil 2.8). Sistemdeki konteyner filo büyüklüğü, “toplam konteyner sistem günü” olarak ifade edilir (Giubilato, 2017).



Şekil 2.8 : Konteyner stok seviyeleri (Giubilato, 2017).

Talep değişkenliği, taşıma ve bekleme süreleri ile bakım sürecine göre filo büyüklüğü belirlenir. Sevkiyat sıklığı, müşterideki ve tedarikçideki dolu-boş konteyner bekleme süresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu için stok gün seviyeleri bu değişken dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu yüzden konteyner servis kapasite planlama sürecinin en önemli girdileri, filodaki konteyner sayısı ve taşıma politikasıdır.



3. YAYIN TARAMASI

Konteyner taşıma zinciri yönetimi kapsamında yer alan problemlerin araştırılması ve çözümü için birçok yaklaşım ve yöntem önerisinde bulunulmuştur. Araştırma kapsamında, bu bölümde özellikle konteyner taşıma zinciri yönetimi ve sistem dinamiği ile kapasite planlama ile ilgili çalışmalara odaklanılmış olup, yayın taramasında yer alan çalışmaların kısaca araştırma alanları sunulmuştur.

3.1 Yeniden Kullanılabilir Taşıyıcı Yayın Taraması

Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanları içeren kapalı döngü tedarik zinciri yönetimi konusundaki çalışmalara göz atıldığında; kapsam, çözüm yöntemi, ağ yapısı vb. boyutlar açısından birbirinden farklılaşan birçok çalışma mevcuttur. Glock (2017) bu alandaki sunulan karar destek sistemlerini dört ana kategoride toplamıştır. İlgili kategoriler: *Alternatif paketleme sistemlerini kıyaslaması, yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların geri dönüşü, konteyner sistemi yönetimi ve yeni konteyner alım politikalarıdır.* Aşağıda bu sınıflandırma kapsamında yer alan çalışmalara yer verilmiştir.

Hammadde, yarımamul ya da ürün depolama, taşıma, saklama süreçlerinde; işletmeler yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanlar, tek kullanımlık taşıyıcı ekipmanlar gibi farklı ambalajlama sistemleri kullanılabilmektedir. Bu ekipmanların kullanımları ve yönetimleri ekonomik, çevresel ya da yönetsel açıdan farklılıklar göstermektedir. Rosenau ve diğ. (1996) çalışmasında ekonomik etkisi açısından yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanlar ile diğer paketleme sistemlerinin kullanımının etkilerini kıyaslamıştır. Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların, tek yönlü taşıyıcılara göre miktarsal anlamda daha az satın alındığını, fakat onlara göre daha fazla yatırım bedeli gerektirmesi ve daha uzun konteyner hareketi ihtiyacı olması sebebiyle yüksek taşıma maliyetlerine yol açtığını belirtilmiştir.

Farklı konteyner sistemlerini karşılaştırmak için benzetim modelinden yararlanan çalışmalar da yayın taramasında yerini almıştır.

Mollenkopf ve diğ. (2018) iki farklı konteyner sistemini kıyaslamak için konteyner maliyet modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri maliyet fonksiyonu ile yeniden kullanılabilir konteyner ile tek kullanımlık konteyner sisteminin işletme operasyon maliyetlerini karşılaştırmıştır. Maliyet fonksiyonu; sevkiyat mesafesi, talep oranı, konteyner başına palet miktarı ve elden çıkarma maliyetini içermektedir. Öncelikle performans açısından hangi sistemin avantajlı olduğu hakkında bilgi edinebilmek için belirli parametre aralıkları için simülasyon verisi üretmiş, daha sonra regresyon analizi ile sonuca en fazla etki eden değişkenlerin tespitinde bulunmuşlardır. Çalışmada en etkili üç parametrenin; konteyner maliyet oranı, ortalama günlük ürün sevkiyat hacmi ve sevkiyat mesafesi olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Chen ve Yang (2005) üç farklı konteyner sistemini kıyaslamak için kesikli süreç simülasyon modeli geliştirmiş; tek kullanımlık, geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir konteyner sistemlerini kıyaslamıştır. Bunu yapabilmek için ilk olarak her bir sistem için maliyet fonksiyonu tanımlamış ve her bir sistem için operasyon maliyetini ve optimum konteyner adedini belirleyecek optimizasyon modeli çalıştırmıştır. Sonrasında simülasyon modeli yardımıyla belirlenen senaryolar için ilgili konteyner sistemlerini karşılaştırmışlardır.

Ray ve diğ. (2016) kiralık ve satın alınan konteyner sistemlerini simülasyon modeli yardımıyla ekonomik açıdan karşılaştırmıştır.

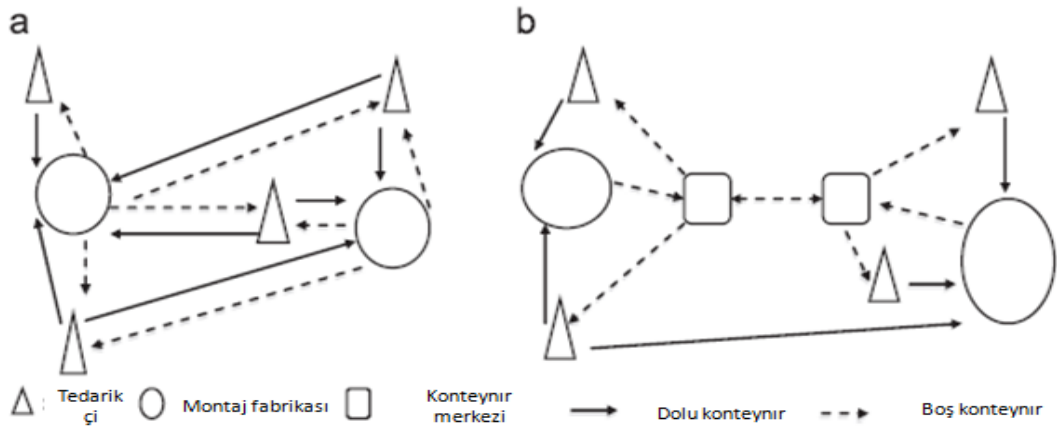
Konteyner sistemleri arasındaki maliyet farklarını kıyaslamak için analitik yaklaşım ile modelleme yapılmasını öneren çalışmalar mevcuttur.

Levi ve diğ. (2011) özellikle meyve ve sebze dağıtım sürecine odaklanarak sektörde kullanılan tek yönlü (kağıt) ve yeniden kullanılabilir (plastik) konteyner sistemlerinin kıyaslaması için bir model önerisinde bulunmuşlardır. Bu sistemlerde kullanılan konteynerlerin tüm yaşam döngüsü boyunca maliyet ve çevresel etkilerini ölçen bir model geliştirmişlerdir. Her iki sistemin de değişen senaryolara göre avantajlarının olduğu tespitinde bulunmuşlardır.

Menesatti ve diğ. (2012) çiçekçilik sektöründe tek yönlü ve yeniden kullanılabilir konteyner sisteminin kıyaslamasını yapmıştır. Çalışmalarında tek üretici, tek dağıtım merkezi ve çok müşterili kapalı döngü bir tedarik zincirinin modellemesi üzerine çalışmışlardır. İlgili modellemede her iki sistem için de yatırım ve operasyonel maliyetleri hesaplamak için bugünkü değer yaklaşımı kullanılmıştır.

Palsson ve diğ. (2013) ise bir otomobil fabrikasında her iki paketleme sistemi için paketleme maliyetlerinin yanında çevresel etkileri de içeren bir model önerisi yapmışlardır. Değerlendirmelerinde; (i) ambalaj dolum oranı, (ii) ambalaj malzemesi, (iii) taşıma, (iv) malzeme elleçleme (v) atık elleçleme ve (vi) yönetim gibi kriterleri kullanmışlardır.

Belirli bir tip konteynerin yalnızca belirli bir müşteri ile arasında kullanıldığı akış olan özel/dedike mod ile, konteynerin birden fazla müşteri ile arasında kullanıldığı akış olan paylaşımlı modu kıyaslamak için Zhang ve diğ. (2015) bir analitik model önerisinde bulunmuştur. Özel/dedike mod ile paylaşım modu içeren bu konteyner sistemleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Taşıma ve envanter bulundurma maliyetlerini dikkate alan toplam maliyet yaklaşımı ile, her iki modun kıyaslaması ekonomik açıdan yapılmıştır. Çalışmada, paylaşımlı modun maliyet avantajı bakımından baskın bir strateji olduğu çıkarımı yapılmıştır. Konteyner geri dönüşlerinin belirsiz olduğu veya müşterilerin talep seviyelerinde farklılıklar olduğu durumlarda paylaşımlı modun avantajının görece arttığı çalışmada açıklanmıştır. Achamrah ve diğ. (2020) de çok müşterili bir tedarik zincirinde konteyner havuzu sistemi ile dedike konteyner kullanımı içeren konteyner sistemini simülasyon modeli ile kıyaslamıştır.



Şekil 3.1 : Kapalı çevrim ağ yapısı (Zhang ve diğ, 2015).

Konteyner sistemlerinin ekonomik etkileri ve çevresel etkilerine odaklanmak için bazı araştırmacılar matematiksel programlama yaklaşımlarını çalışmalarında önermişlerdir.

Bilbao ve diğ. (2011) palet sisteminin; malzemedan imalat, kullanım, taşıma ve ömrü sonunda elden çıkarmaya kadar tüm yaşam sürecini kapsayan ekonomik ve çevresel etkilerini araştırmıştır ve doğrusal çok ürünlü ağ akış modeli geliştirmiştir. Model

Çevresel konular ile ilgili olarak palet yaşam döngüsünde gerekli enerjiyi, yayılan toksik maddeler ve neden olunan sera gazı emisyonlarını dikkate aldığı gibi; paletin malzeme seçimini de dikkate almaktadır.

Carrona ve diğ. (2015) ise tek kullanımlık, mülkiyete alınan yeniden kullanılabilir ve kiralanmış yeniden kullanılabilir paletlerin kullanımını içeren üç farklı palet yönetim sisteminin ekonomik etkilerini değerlendiren model ortaya koymuştur. Farklı elleçleme, yükleme ve kullanım ömrü senaryoları altında karma palet yönetim sisteminin çevresel etkilerini değerlendirmek için optimizasyon modeli geliştirmiştir.

Grimes-Casey ve diğ. (2017) ise tek kullanımlık veya yeniden doldurulabilir şişe terciğinde optimum stratejiyi bulmak için oyun teorisi modeli önermiştir. Yeniden doldurulabilir şişeleri için müşteri dönüş oranının yüksek olduğu koşullar için yeniden doldurabilir şişelerin tercih edilebileceği; ancak müşterilerin şişeleri attığı ya da depozitoya karşı talebi düşürdüğü koşullarda tek kullanımlık şişelerin tercih edilebileceği önerisinde bulunulmuştur. Çalışmada, müşteri işbirliği beklentileri modele bir fonksiyon olarak eklenmiştir.

Yeniden kullanılabilir taşıyıcıların geri dönüşlerinin tahminlemesi de yayın taramasında önemli bir konu olarak araştırılmıştır. Çünkü bu tahminleme; sevkiyat planlamasını ve yeni taşıyıcı satın alma sürecini önemli ölçüde etkileyen bir süreçtir. Müşteri davranışı, taşıma süreci, taşıyıcıların kalite ve yaşam ömrü gibi faktörler; konteyner dönüşlerini etkilemektedir (Glock, 2017).

Goh ve Varaprasad (1986) alışmalarında konteyner dönüşünün dağılımını tahminleyen bir prosedür önerisinde bulunmuşlardır. Önerdikleri yöntem; konteyner dönüş sürecini etkileyen birçok parametreyi içermektedir. Bu parametrelerden bazıları; bir konteynerin yaşam döngüsü içerisindeki toplam tur sayısı, ortalama konteyner ömrü, ortalama tur süresi, konteyner kayıp oranıdır.

Kelle ve Siler (1989a) farklı değişkenleri dikkate alan dört ayrı tahminleme modeli geliştirmiştir. İlk model, tedarik süresi boyunca talebin beklenen değer ve varyansı ile her bir konteynerin dönüş olasılığına dayanmaktadır. İkinci metod, bir önceki periyottaki konteyner ile sonraki dönemlerdeki konteyner dönüş olasılıklarını dikkate alarak tahminleme yapar. nc model, ikinci model için gerekli bilgilerin yanında her bir önceki süreçte iade edilen konteyner sayılarını da kullanır. Bu modele her bir konteynerin kimliklendirilmesi gereksinimi mevcuttur. Dördüncü modeldeki

yaklaşım ise ikinci modelde istenen değişkenlere ek olarak, her bir konteyneri kimliklendirmeye ihtiyaç duymadan önceki dönemlerin her birinde dönen toplam konteyner sayısını kullanmaktadır.

Bojkow (1991) ise ortalama konteyner tur sayısını hesaplamak için iki aşamalı bir yöntem önerisinde bulunmuştur. İlk aşamada; dolaşımdaki, kayıp ve kalan konteyner sayısını içerecek şekilde ortalama tur sayısının verilerini üretmek için bir benzetim modeli geliştirmiştir. Sonraki aşamada ise bir konteynerin ortalama tur sayısını kestirmek için bir formül türetmiştir.

Fan ve diğ. (2019) konteyner geri dönüş sürecini analitik yaklaşım ile modelleyip, kayıplarının azaltılması için strateji önerisinde bulunmuşlardır.

Filo büyüklüğü kararları, tedarik zinciri boyunca düzgün ürün akışının önemli derecede etkileyen kararlardan biridir. Bu kapsamda kaç konteynerin, ne zaman ve nerede sipariş verileceğinin belirlenmesi gerekmektedir (Glock, 2017). Birçok araştırmacı da yukarıdaki soruları kapsayan filo büyüklüğü problem için çözüm öneri ve modelleri ortaya koymuşlardır.

Kelle ve Silver (1986b) konteyner dönüş oranının belirsiz olduğu koşulları kabulü ile satın alma politikası önerisinde bulunmuşlardır. Oluşturdıkları model ile öngörülen servis seviyesinde toplam satın alma ve beklenen konteyner elde bulundurma maliyetinin toplamını en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Ortaya çıkan stokastik model; deterministik, dinamik lot büyüklüğü belirleme problemine dönüştürülmüştür.

Buchanan ve Abad (1998) beklenen toplam maliyeti en azlayacak en ideal konteyner sayısının tespiti için periyodik envanter gözden geçirme sistemine dayalı bir envanter kontrol modeli geliştirmişlerdir.

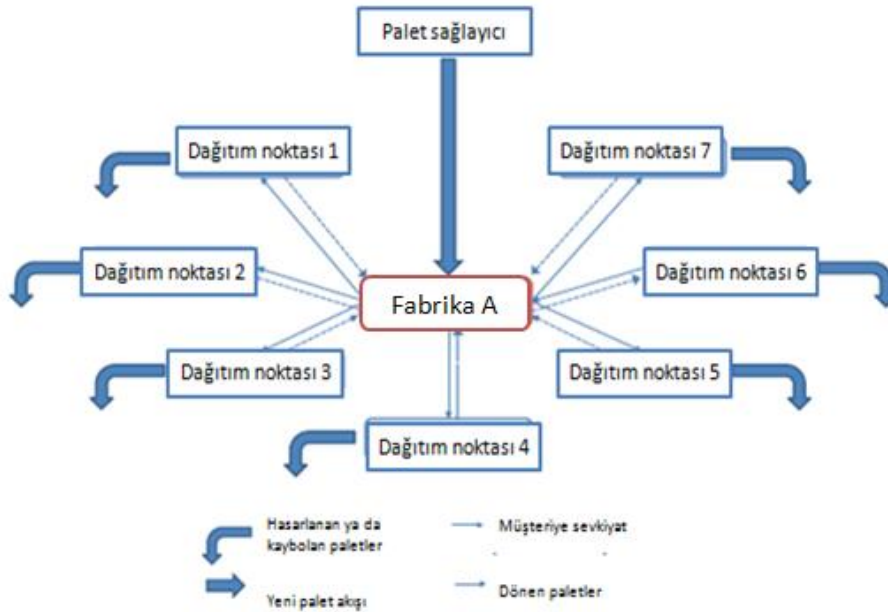
Chew ve diğ. (2002) ise yine konteyner filo büyüklüğü belirleme problemi için stok devir hızı, konteynerlerin pasif kullanım süresi, günlük ortalama kullanım oranı ve kullanım oranının standart sapması gibi performans parametre seti belirlemişlerdir.

Maliyet rekabetçiliği, müşteri ve kalite beklentileri açısından konteyner taşıma zincirinin yönetimi ve koordinasyonu önem arz etmektedir. Özellikle ürün ve konteyner akışı arasındaki koordinasyon; nakliye, dağıtım ve tekrar konumlandırma faaliyetlerin planlanma düşünüldüğünde zorlayıcı bir konudur (Glock, 2017).

Tedarik zinciri faaliyetlerinin toplam verimliliğini etkileyen çeşitli faaliyetleri konu alan birçok çalışma yayın taramasında mevcuttur.

Kroon and Vrijens (1995) kapalı döngü konteyner taşıma zincirinde; (1) konteyner sayı, (2) konteyner depo sayısı ve yeri (3) konteynerlerin dağıtım, toplama ve tekrar konumlandırma kararları, (4) servis, dağıtım ve toplama ücretlerinin belirlenmesi faaliyetleri için matematiksel model önerisinde bulunmuşlardır.

Bottani ve diğ. (2015) tek ürün çok müşteri ve konteyner geri dönüşlerinin belirsiz olduğu bir konteyner taşıma zincirinde; ekonomik sipariş büyüklüğü (EOQ) ve sipariş noktasının belirlenmesi için çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirmiştir. Çalışmalarında modelledikleri ağ yapısı Şekil 3.2’de paylaşılmıştır. Modelde; birbiri ile çelişebilen stratejik performans kriterleri (stoksuz kalma oranı, demirbaş miktarı, palet kullanım oranı, palet rotasyon oranı vb.) ile ekonomik performans kriterlerini (envanter, dağıtım noktalarından toplama, düzenli ve acil sipariş maliyeti vb.) dikkate alınarak ekonomik sipariş miktarı ve minimum sipariş noktasının ne olması gerektiği analiz edilmiştir. Geliştirdikleri bu model ve simülasyon yardımıyla üç farklı sipariş seçeneğini değerlendirilmiştir: (a) yeterli konteyner bulunan perakendeciden temin, (b) konteyner servis sağlayıcıdan yeni konteyner siparişi, (c) konteyner servis sağlayıcıdan acil konteyner temini.



Şekil 3.2 : Stokastik çevrim miktarına sahip TZ ağı (Bottani ve diğ., 2015).

Sarkar ve diğ. (2017) çalışmalarında; ileri ve tersine lojistik faaliyetlerinin yürütüldüğü tedarik zincirinde kullanılmış ürünün geri kazanımı ile konteynerin

çevresel ve ekonomik etkilerini optimize etmeyi amaçlayan karma tamsayıli lineer olmayan programlama modeli önermiştir. Konteyner kapasitesi, konteyner adedi, dağıtıcılara sevkiyat sırası, çevrim süresi ve geri kazanım oranını; eş anlı olarak optimize ederek toplam maliyeti minimize etmeyi amaçlamıştır.

Glock ve Kim (2014) toplam maliyeti minimize etmek amacıyla; erken ve geç sipariş sipariş stratejilerinin, konteyner filo büyüklüğü, perakendeci sipariş adedi ve sevkiyat sırasının belirlenmesi için bir matematiksel model önerisinde bulunmuşlardır. Ele aldıkları tedarik zinciri, tek tedarikçi ve çok müşterili bir konteyner taşıma zinciridir. Kıyaslamasını yaptığı iki sevkiyat stratejisinden ilkinde, tedarikçi tanımlı lot tamamlanmadan sevkiyat yapabilmekte iken; ikincisinde tedarikçi yalnızca tanımlı lota ulaşıldığında sevkiyat yapabilmektedir.

Atamer ve diğ. (2013)'de tek ürün, tek tedarikçi, çok müşterili ağ yapısı ve stokastik talep yapısına sahip bir tedarik zinciri ağı için konteyner tedarik seçenekleri üzerine çalışmıştır. Çalışmalarında yer verdikleri birinci tedarik seçeneği, müşterinin kullandığı konteynerin tekrar kullanımı; ikincisi ise yeni konteyner kullanımıdır. RTI dönüş miktarının hem müşteri talebine hem de üretici tarafından kullanılmış konteyner için belirlenmiş edinim ücretine bağlı olduğu varsayılmıştır. Yeni konteyner üretim ile eski konteynerin tekrar kullanım maliyetlerinin farklı olduğunu kabul etmiştir. Bu koşullarda optimum eski konteyner edinim ücreti ve optimum yeni konteyner üretim adedini belirlemeyi amaçlamıştır.

Bitmiş ürün ve yeniden kullanılabilir konteyner envanteri arasındaki etkileşimi dikkate alan bir çok çalışma da yayın taramasında yerini almıştır.

Kim ve diğ. (2014) çalışmalarında bozulabilen ürünlerin taşıma sürecinde yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların kullanıldığı bir tedarik zinciri ağı için analitik bir model ortaya koymuştur. Bu analitik model; tedarik süresinin değişken olduğu tek tedarikçi-tek müşteri yapısına sahip tedarik zinciri ağını kapsamaktadır. Benzetim modelleme tekniğinden yararlanılarak maliyet minimizasyonu açısından temin süresindeki değişkenlik ile çevrimdeki konteyner miktarı arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca bozulabilen ürünler açısından erken ve geç sevkiyat stratejilerinin, maliyeti nasıl etkilediği de çalışmada incelenmiştir.

Mensemiek (2015) tek tedarikçili ve çok müşterili konteyner taşıma zinciri için konteyner dağıtım çizelgelemesi üzerine çalışmıştır. Tedarikçi ürünlerini, ilgili

müşteriye belirli bir teslim tarihini dikkate alarak konteyner ile sevk etmektedir. Elinde konteyner bulunmadığında ise üretime devam edebilmekte ancak geçici konteynere üretim yapıldığı ekstra elleçleme maliyetlerine yol açılmaktadır. Araştırmacı bu varsayımlar altında; yeniden kullanılabilir konteyner ve bu elleçleme cezasını dikkate alacak şekilde ağırlıklı erken ve geç tamamlama cezaları ile tek makineli çizelgeleme problemi çözmüştür.

Elia ve Gnoni (2015) kapalı döngü palet yönetim sistemi tasarımında kritik faktörlerinin analizi üzerine çalışmışlardır. Üreticilerin ürünleri müşterilerine sevk ederken palet kullandığı, bir lojistik servis sağlayıcı aracılığı ile bu paletlerin toplandığı ve depolandığı, paletlerin yine bu servis sağlayıcı tarafından boşaltılıp, yeniden ürünlerin palete yüklenip müşteriye sevk edildiği ve geri toplandığı bir süreci; kesikli süreç simülasyonu modelleme tekniğinden yararlanarak modellemişlerdir. Ürün başına toplam boşaltma süresi, ürün başına toplam boşaltma kuyruğu, paletler için toplam satınalma maliyeti, servis sağlayıcı tarafından verilen paletlerin değeri vb. faktörler incelenmiştir.

Glock ve Kim (2016) tek tedarikçi ve tek müşterili bir konteyner taşıma zinciri için konteyner emniyet miktarı belirleme üzerine çalışma yapmışlardır. Konteyner geri dönüş zamanının stokastik olduğunu ve gecikmenin bitmiş ürün için stoksuz kalma durumuna yol açacağı varsayılarak, farklı emniyet ölçülerinin maliyet üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu emniyet ölçüleri; konteyner emniyet stoğu, dönüş süresine bağlı emniyet ve hibrid durumu içermekte olup; matematiksel model geliştirilmiş ve etkileri analiz edilmiştir.

Hariga ve diğ. (2016) bozulabilir ürün tedarik zinciri için Kim ve diğ. (2014) yapmış olduğu çalışmayı, stoksuzluk riskinin azaltılması için kiralık konteynerleri de modellerine dahil ederek genişletmiştir. Konteyner geri toplama sevkیاتları dönüşünde gecikme yaşanması durumları için tedarikçinin kiralama süresine bağlı bir kiralama bedeli ile konteyner temin edebileceğini varsaymış ve hangi koşullar altında kiralama modelinin avantajlı olduğunu analiz etmiştir.

Han ve Pu (2018) boş konteyner hazırlama ve dağıtım problemi için stokastik dinamik programlama önerisinde bulunmuşlardır.

Li ve diğ. (2020) iki katmanlı bir tedarik yapısında konteyner paylaşım stratejisini içeren konteyner dağıtım ve toplama rotalarının optimizasyonu için optimizasyon modeli önerisinde bulunmuştur.

Konteyner yönetimi kapsamında yayın taraması incelendiğinde; stratejik seviyeden operasyonel seviyeye kadar birçok karar süreci ile ilgili problemler, araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Taktiksel seviyede filo büyüklüğünün ve kapasite belirlenmesi vb. problemler incelenirken, operasyonel seviyede de taşıma planlaması ile ilgili konular ve taşıma frekansının belirlenmesi gibi problemlerin incelendiği görülmüştür. Ancak taktiksel kararlar ile operasyonel kararları aynı anda içeren çalışma sayısı az olup; özellikle bütünsel bir bakış açısı ile konteyner servis kapasitesi planlaması süreci için filo planlama ve taşıma planlama politikalarının finansal etkilerini değerlendiren bir çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada farklı konteyner servis kapasitesi ve taşıma politikalarının finansal açıdan sistem davranışına etkisi analiz edilmiştir.

Probleme ait sürecin konteyner yönetimi altındaki birçok alt süreç ile etkileşim içerisinde olması, dinamikliği ve karmaşıklığından dolayı ilgili sürecin bir benzetim çalışması ile modellendikten sonra politika analizlerinin yapılması kararlaştırılmıştır. Çünkü analitik modeller, belirli varsayımlar altında optimum sonuca ulaşmaya çalışan yaklaşımlar iken; simülasyon modelleri daha yüksek seviyede detay barındırması bakımından daha sağlam yaklaşımlar olarak ifade edilmektedir. Bu modeller; dinamik kavramları, mevcut ilişkileri, gerçeğin karmaşıklığının diğer kaynaklarını barındırmaktadır (Li ve diğ., 2009). Ballu de çalışmasında bu savı destekleyerek çok aşamalı tedarik zinciri ağ yapısında; tüm zincir boyunca envanter yönetiminin matematiksel analiz ile çok karmaşık olduğunu göstermiş ve simülasyon yardımı ile bunun gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir (Higuchi, 2004). Bu araştırmalar, dinamik yapıda ve karmaşık yapıda olan problemlerin anlaşılmasında simülasyon yaklaşımları kullanıldığını göstermektedir. Konteyner servis kapasite planlama süreci de; sipariş süreci, sevkiyat/taşıma süreci, bakım süreci, geri taşıma süreci, konteyner bakım süreci ve finansal süreçler ile etkileşim halinde olduğu için karmaşık yapıdadır ve zamana bağlı olarak karar süreçleri etkilenebilmektedir. Ayrıca bütünsel bir bakış yerine fonksiyonel olarak modelleme, bir sürecin daha verimli hale getirmesini sağlarken, diğer süreci kötüleştirebilecektir. Bu sebeplerden

dolayı benzetim araçları ile davranış modellemesinin politika analizleri için önerilmiştir.

3.2 Sistem Dinamiği Yayın Taraması

Konteyner yönetimi; tedarikçi, müşteri ve üçüncü parti lojistik paydaşları arasındaki ürünlerin ve/veya taşıyıcılarının akışı, bilgi ve finansal akış ile ilgilenmesi dolayısıyla tedarik zinciri yönetiminin alt konularından biridir. Bu sebeple, benzetim tekniklerinin tedarik zincirinin hangi konularındaki problemleri ve/veya kararları için kullanıldığı, hangi benzetim modelleme aracını ilgili problemlerin çözümünde tercih edildiği araştırılmıştır.

Tedarik zinciri yönetiminde karar destek amaçlı kullanılan ve yapıları birbirinden farklı iki simülasyon yaklaşımı olan kesikli olay simülasyonu ve sistem dinamiği modelleme teknikleri stratejik seviyeden operasyonel seviyedeki kararlara kadar kullanıcıya destek sağlamak için kullanılmaktadır. Operasyonel seviyedeki kararlar için daha çok kesikli süreç simülasyonu tekniği, stratejik kararlar için de sistem dinamiği tekniği kullanıldığı görüşü hakim olsa da, Tako ve Robinson (2012) yaptığı yayın taramasında her seviyedeki kararlar için iki yöntemde kullanıldığı sonucuna ulaşmıştır. Yaptıkları çalışmada öncelikle tedarik zincirindeki konuları karar hiyerarşisine göre tedarik zincir konularını stratejik seviyeden taktiksel/operasyonel seviyeye doğru gruplandırmışlar (Şekil 3.3) ve yöntem ile karar hiyerarşisi arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını incelemişlerdir.



Tedarik Zinciri Konuları	Issues in supply chain	Kısaltma
Tedarik zinciri yapısı	Supply Chain structure (SCS)	SCS
Süreç tasarımı	Process design (BPR)	BPR
Tedarikçi seçimi	Supplier selection (SS)	SS
Tesis/Kapasite planlama	Facilities/Capacity planning (FCP)	FCP
Tedarik zinciri entegrasyonu	Supply chain integration (SCI)	SCI
Bilgi paylaşımı	Information sharing (ISH)	ISH
Kamçı etkisi	Bullwhip effect (BE)	BE
Tersine lojistik	Reverse logistics (RL)	RL
Yenileme kontrol politikası	Replenishment control policies (RCP)	RCP
Tedarik zinciri optimizasyonu	Supply Chain optimization (SCO)	SCO
Maliyet azaltma	Cost reduction (CR)	CR
Sistem performansı	System performance (SP)	SP
Stok planlama/yönetimi	Inventory planning/management (IPM)	IPM
Talep tahminleme ve planlama	Planning & Forecasting demand (PFD)	PFD
Üretim planlama ve çizelgeleme	Production planning & scheduling (PP-SCH)	PP-SCH
Dağıtım ve taşıma planlama	Distribution & transportation planning (DTP)	DTP
Atama kuralları	Dispatching Rules (DR)	DR

Şekil 3.3 : TZ konuları ve karar hiyerarşisi (Tako & Robinson, 2012).

Yaptıkları istatistiksel çalışmaya göre; çoğu tedarik zinciri konusunda, karar hiyerarşisi ile yöntem arasında anlamlı bir ilişki olmadığını tespit etmişlerdir. Fakat kamçı etkisi modellemesinde sistem dinamiğinin, kesikli olay simülasyonu tekniğine göre üstün yanlarından dolayı tercih edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun dışında Çizelge 3.1.'de de görüleceği üzere; tedarik zinciri yapısı, envanter yenileme politikaları, tedarik zinciri optimizasyonu, dağıtım ve taşıma planlama, dağıtım atama kuralları gibi konularda da kesikli süreç simülasyonunun daha yaygın kullanıldığı görülmektedir (Tako ve Robinson, 2012).

Çizelge 3.1 : TZ'de simülasyon yöntemi (Tako ve Robinson, 2012).

Tedarik zinciri konuları	Kısaltma	Fark (DES-SD)	Üst limit	Alt limit	Yüzde kullanım (Çift kuyruklu z testi)
Tedarik zinciri yapısı	SCS	4%	0,1%	8%	DES daha fazla
Süreç tasarımı	BPR	-1%	-4,8%	3%	Aynı
Tedarikçi seçimi	SS	-1%	-3,9%	2%	Aynı
Tesis/Kapasite planlama	FCP	-1%	-4,8%	3%	Aynı
Tedarik zinciri entegrasyonu	SCI	0%	-6,3%	6%	Aynı
Bilgi paylaşımı	ISH	-5%	11,2%	2%	Aynı
Kamçı etkisi	BE	-16%	23,8%	-8%	SD daha fazla
Tersine lojistik	RL	-1%	-5,1%	2%	Aynı
Yenileme kontrol politikası	RCP	6%	2,0%	11%	DES daha fazla
TZ optimizasyonu	SCO	5%	0,3%	10%	DES daha fazla
Maliyet azaltma	CR	2%	-1,8%	5%	Aynı
Sistem performansı	SP	3%	-3,9%	9%	Aynı
Stok planlama/yönetimi	IPM	0%	-9,1%	9%	Aynı
Talep tahmin. ve planlama	PFD	-1%	-7,0%	5%	Aynı
Üretim planlama ve çizelgeleme	PP-SCH	1%	-5,5%	8%	Aynı
Dağıtım ve taşıma planlama	DTP	4%	1,0%	8%	DES daha fazla
Atama kuralları	DR	2%	0,04%	3%	DES daha fazla

Tedarik zincirinin en yaygın problemlerinden birinin kamçı etkisi olması ve bu etkinin konteyner servis kapasite planlama süreci kapsamında da gözlemlenen bir durum olması vesilesiyle kamçı etkisinin sistem dinamiği ile modellendiği tedarik zinciri problemleri incelenmiştir. Tako ve Robinson (2012) tarafından yapılan araştırma genişletilerek aşağıda sunulmuştur.

Kamçı etkisinin modellendiği birçok çalışma, ileri yönlü tedarik zinciri problemlerine odaklanmıştır. Tedarik zincirinin envanter yönetimi, talep yönetimi, taşıma planlama vb. konularda kamçı etkisinin modellenmesi yapılarak; sistemin davranışı, çeşitli karar politikaları sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak

incelenmiştir. Şekil 3.4'te kamçı etkisinin sistem dinamiği ile modellendiği problemler sunulmuştur.

Helo (2000) tedarik zinciri çevikliği ile ilgili sistem dinamiğinden yararlanarak üç farklı modeli incelemiştir. İlk olarak kamçı etkisinden yola çıkarak sipariş politikasının önemi değerlendirilmiş, ikinci olarak, Burbidge etkisi modellenerek yük varyasyonunu çalışmasında incelenmiş, üçüncü olarak da kapasite bazlı tedarik zinciri modeli önerisinde bulunulmuştur. Çalışmada ortalama kapasite kullanım oranının, ortalama tedarik süresi ile direk ilişkili olduğu ortaya konmuştur.

Makale Bilgileri		Tedarik Zinciri Konuları																		Çevrim Yapısı	
Yazar	Yıl	Tedarik zinciri yapısı	Süreç tasarımı	Tedarikçi seçimi	Tesis/Kapasite planlama	Tedarik zinciri entegrasyonu	Bilgi paylaşımı	Boğa kamçısı etkisi	Risk yönetimi	Tersine lojistik	Yenileme kontrol politikası	Tedarik zinciri optimizasyonu	Maliyet azaltma	Sistem performansı	Stok planlama/yönetimi	Talep tahminleme ve planlama	Üretim planlama ve çizelgeleme	Dağıtım ve taşıma planlama	Atama kuralları	Açık döngü TZ	Kapalı döngü TZ
Anderson ve diğ.	2005				SD			SD												x	
Campuzano-Bolarin	2013							SD								SD				x	
Cheng ve diğ.	2008							SD	SD									SD		x	
Das ve Dutta	2013							SD		SD						SD					x
Disney	2003a					SD		SD								SD				x	
Ge ve diğ.	2004		SD				SD	SD												x	
Georgiadis ve Besiau	2008							SD		SD					SD						x
Georgiadis ve Besiau	2010							SD		SD					SD						x
Golroudbary ve Zahraee	2015							SD		SD					SD						x
Helo	2000				SD			SD								SD				x	
Higuchi	2004				SD			SD									SD			x	
Janamanchi	2009							SD								SD				x	
Kumar ve Nigmatullin	2011							SD							SD	SD				x	
Li ve diğ.	2009						SD	SD								SD				x	
Li ve diğ.	2016							SD	SD									SD		x	
Minegishi & Thiel	2000							SD								SD		SD		x	
Moon & Kim	2005							SD												x	
Mula ve diğ.	2013							SD								SD			SD	x	
Naim	2006							SD							SD	SD		SD		x	
Nuo ve Xiao-jio	2010							SD									SD			x	
Pierreval ve diğ.	2007							SD							SD	SD				x	
Rabelo ve diğ.	2011							SD							SD	SD				x	
Rabelo ve diğ.	2008							SD	SD											x	
Tang and Naim	2004						SD	SD		SD								SD			x
Vlachos ve diğ.	2007				SD			SD													x
Wangphanich	2007					SD	SD	SD												x	
Kamath ve Roy	2007					SD		SD												x	

Şekil 3.4 : Kamçı etkisi ve sistem dinamiği modelleme.

Minegishi & Thiel (2000) gıda sektöründe mevsimselliğin ve farklı talep fonksiyonlarının envanter planlaması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Disney ve diğ. (2003a) sistem dinamiği yaklaşımını kullanarak envanter yönetimi ve taşıma operasyon yönetimi arasındaki ilişkiyi incelemek için iki aşamalı tedarik zinciri ağını modellemiştir. Geleneksel, içsel konsolidasyon (dolu tır yükü sağlayacak şekilde sevkiyat planlaması) ve satıcı yönetimli envanter model (VMI: vendor managed inventory) için envanter-sevkiyat yönetiminden oluşan senaryoların performanslarını karşılaştırmıştır.

Ge ve diğ. (2004) çalışmalarında çok aşamalı bir tedarik zinciri ağını modelleyerek; bilgi gecikmesi, talep tahmin metodu ve bilgi paylaşımı ile kamçı etkisi ilişkisini incelemiştir.

Moon ve Kim (2005) kamçı etkisine sebep olan faktörleri tanımlayarak, tedarik zinciri yönetimi için bira oyunu üzerinden sistem düşünce yeteneğini anlatmıştır.

Holweg ve diğ. (2005) bitmiş otomobil envanter planlama için sistem dinamiği yaklaşımından yararlanarak, “build to order” ile “make to forecast” yaklaşımlarını karşılaştırmıştır.

Naim (2006), yeni tedarik zinciri performans ölçütlerinin test edilebileceği klasik bir yaklaşım olan bira oyununu sistem dinamiği ile modelleyerek; üretim planlama ve kontrol sisteminin sipariş kuralı seçiminde NPV parametre seçiminin performansa etkisini incelemiştir.

Wangphanich (2007) çok aşamalı ve çok ürünli tedarik zinciri ağında sistem dinamiği modelleme tekniğinden yararlanarak kamçı etkisine yol açan değişkenleri incelemiştir.

Pierreval ve diğ. (2007) çok aşamalı otomotiv sektörü tedarik zinciri ağını makro bakış açısı ile incelemek için sürekli akış simülasyon modelleme tekniği olan sistem dinamiği modelleme tekniğinden yararlanarak modellemiştir. Çalışmalarında kamçı etkisinin bir alt konusu olan talep değişikliğinin alt birimlerdeki envanter kıtlık ve sipariş yetiştirme performans etkisini incelemiştir. Janamanchi (2009) ise iki aşamalı tedarik zinciri ağı için farklı amaçları (maliyet minimizasyonu, müşteri talep karşılanması vb) karşılama konusunda envanter politikalarındaki değişimin etkisini sistem dinamiği ile göstermiştir.

Li ve diğ. (2009) kamçı etkisinin nedenlerini ve bunu kontrol etmek için olası yaklaşımları araştırmıştır. Kararsız yapının sebebinin; kontrol edilebilen ve edilemeyen gecikmeler, sipariş döngüsü, tedarik süresi olduğu savını ortaya atmıştır. Sipariş döngüsünü artırmanın ve yoldaki envanter seviyesindeki izlenebilirliği artırmanın kamçı etkisini azalttığı sonucuna ulaşmıştır. Nuo (2010) çok aşamalı tedarik zinciri için rassal talep yapısının kamçı etkisi sebebiyle ile sipariş üzerine etkisini incelemiştir. Emniyet stok, temin süresi ve tahmin periyodunun kamçı davranışı üzerinde etkisini ölçmeye çalışmıştır.

Kumar ve Nigmatullin (2011) dayanıklı ürünler için talep değişkenliği ve tedarik süresinin tedarik zinciri performansına etkisini sistem dinamiği modelleme tekniğinden yararlanarak incelemişlerdir. Tedarik zinciri performans göstergeleri olarak özellikle de ortalama günlük envanter, ortalama günlük tedariki, stoksuz yıllık kalınan gün sayısı parametrelerine odaklanmışlardır.

Cheng ve diğ. (2008) sistem dinamiği yönteminden yararlanarak tedarik zincirinde meydana gelebilecek bozulmanın etkilerini incelemiştir. Bu bozulmanın ana sebeplerinin bilgi kopması, bilgi gecikmesi, fiyat dalgalanması ve tahminleme hatası olduğunu ileri sürmüştür. Bu kopmalara karşı kapasite planlamasının nasıl olması gerektiğine odaklanmıştır.

Rabelo ve diğ. (2011) talep dalgalanmasında envanter ve iş gücünü dengelemek için sistem dinamiği modelindeki parametreleri, parçacık sürüsü optimizasyon (particle swarm optimization) tekniğinden yararlanarak belirlemiş ve ADE (accumulated deviations from equilibrium) teorisine dayanan bir metodoloji ortaya koyarak önerdikleri modelin etkinliğini tespit etmişlerdir. Campuzano-Bolarin ve diğ. (2013) çok aşamalı bir tedarik zinciri ağında kamçı etkisini azaltmak amacıyla talep tahmin yöntemi olarak üssel düzgünleştirme yerine bulanık hesaplama yöntemini incelemek için sistem dinamiği modelleme yönteminden yararlanmıştır. Çalışmada, imalatçı ve perakendeci kanadında talep tahmin kombinasyonları ile senaryolar geliştirerek kamçı etkisini modellemişlerdir.

Rabelo ve diğ. (2008) tedarik zinciri sistem dinamik modeli kullanarak sistemin dinamik davranışını modellemiş ve erken karar verme aşamasında davranışsal değişiklikleri öngörmek için yapay sinir ağını eğitmiş ve istenmeyen koşulları tespit etmeye çalışmıştır.

Bazı araştırmacılar; tedarik zincirinde kamçı etkisinin kapasite ve taşıma süreci üzerinde etkisini ölçmek için sistem dinamiğinden yararlanmıştır. Anderson ve diğ. (2005) hizmet seviye göstergelerinden karşılanamayan sipariş ile kapasite politikası ilişkisini iki aşamalı tedarik zincirinde sistem dinamiği yaklaşımından yararlanarak incelemiştir. Mula ve diğ. (2013) iki seviyeli, çok ürünlü ve çok periyotlu tedarik zincirinde operasyonel temin ve taşıma planlaması için sistem dinamiğine dayanan bir simülasyon modeli önermişlerdir. Çalışmalarında ortalama envanter ile kamyon sevkiyat sayısı arasındaki ödünleşmenin nasıl olacağını sistem dinamiği ile test etmişlerdir. Li ve diğ. (2016) kimyasal tedarik zinciri taşıma sisteminde farklı koşullarda zamana bağlı meydana gelen çeşitli risk etkilerini sistem dinamiğine dayanan simülasyon metodolojisi ile incelemiştir. Çeşitli risk senaryolarının simülasyon sonuçlarını; taşıma kapasitesi, taşıma süresi, envanter seviyesi ve müşteri sipariş karşılama oranı performans ölçütlerine göre karşılaştırmıştır. Higuchi (2004) kısa yaşam döngüsüne sahip çok aşamalı tedarik zinciri ağındaki kamçı etkisinin; talep, envanter ve kapasite üzerindeki etkisini sistem dinamiği ile incelemiştir. Kamath ve Roy (2007) de benzer şekilde kısa yaşam döngüsüne sahip iki aşamalı TZ ağını modelleyerek değişken talep altında kapasite büyütme stratejisini ele almıştır.

Yukarıda da bahsi geçtiği gibi sistem dinamiği modelleme yaklaşımının kullanıldığı birçok çalışmada ileri döngü TZ ağı modellemesi yapılarak kamçı etkisi davranışı modellenmiştir. Bunun dışında kapalı döngü TZ ağının sistem dinamiği ile modellendiği çalışmalar da gerçekleştirilmiştir.

Tang and Naim (2004) kullanılmış ürünlerin geri kazanımı ile ilgili tersine lojistik kapsamında bilgi görünürlüğünün envanter ve üretim planlamasına etkisini sistem dinamiği yaklaşımı ile incelemişlerdir. Vlachos ve diğ. (2007) tek ürünlü ileri ve tersine lojistik faaliyetlerini içeren kapalı döngü tedarik zincirindeki geri dönüşüm prosesinde; farklı kapasite politikaların firmanın yeşil imaj faktörü, talebe ve maliyete etkisini araştırmışlardır. Geliştirdikleri modelde, kullanılan ürünlerin geri dönüşümünü dikkate almışlardır. Georgiadis ve Besiau (2008) geri dönüşüm aktivelerini içeren tek ürün ve tek üreticileri kapalı tedarik zincirinde ekolojik motivasyon ve teknolojik inovasyonun etkilerini sistem dinamiği yardımıyla araştırmışlardır. Çalışmalarında ekonomik motivasyon, yasal düzenleme ve yeşil imaj faktörü ile ortaya konulmuştur. Teknolojik inovasyon, çevre için tasarım ile ifade edilmiştir. Çalışmalarında önerilen sistem dinamiği modeli; yasal ölçütlere ve

yeşil tüketici hareketine firmanın uyumu gibi konularda, duyarlılık analizlerinin yapılması için bir metodoloji sunmuştur. Georgiadis ve Besiau (2010) bir başka çalışmada bu modeli genişleterek, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği faktörleri değerlendirmekle kalmamışlar, bunların arasındaki etki tipini ve etkileşimin önemini belirlemişlerdir. Das ve Dutta (2013) ileri ve tersine lojistik faaliyetlerini entegre bir şekilde içeren kapalı döngü tedarik zincirinde; ürün değişimi ve geri kazanım politikalarının (bileşen tekrar kullanımı, tekrar imalat, hammadde kazanımı) kamçı etkisi skoruna ve finans durumuna etkisini araştırmıştır. Geri kazanım politikalarını aynı sistem dinamiği modeline entegre etmiştir. Çalışmalarının ikinci aşamasında, geri kazanılan ürün ya da bileşenlerden oluşan çıktıların ikincil pazarda sunulduğu açık tedarik zinciri ile ilk modelinde yer alan kapalı tedarik zinciri modelinde kamçı etkisini karşılaştırmıştır. Golroudbary ve Zahraee (2015) kapalı döngü tedarik zincirinde geri dönüşümün müşteri sürdürülebilirlik kavramı açısından etkisini sistem dinamiği ile modelleyerek araştırmışlardır. Sürdürülebilirlik kavramının sosyal boyutu açısından müşteri tahmin seviyesi, çevre boyutu açısından yeşil imaj faktörü parametre olarak alınmış; geri dönüşüm zamanının bu parametreler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Yapılan yayın taramasında, sistem dinamiği modelleme tekniğinin, stratejik seviyeden operasyonel seviyeye kadar her tedarik zinciri problemleri için yaygın kullanıldığı görülmüştür. Yapısı itibari ile kapalı döngü tedarik zinciri olan, kamçı etkisinin gözlemlendiği, tersine lojistik, kapasite planlama vb. faaliyetlerinin yürütüldüğü konteyner sistemi yönetiminde servis kapasite planlama stratejilerinin belirlemesi için sistem dinamiğinin bir modelleme aracı olabileceği çıkarımı yayın taraması yardımıyla yapılmıştır.

4. ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

Tedarik zincirinde sistem dinamiği yaklaşımının kullanıldığı çalışmalar ve konteyner yönetim sürecinin yapısı dikkate alınarak konteyner taşıma zincirinde değişen koşullar altında en uygun konteyner servis kapasite planlama strateji ve politikalarının belirlenmesi için sistem dinamiği ile benzetim modelleme tekniği önerilmiştir.

Higuchi (2004), Sunil ve Meindi'nin çalışmasına atıfta bulunarak; tedarik zincirinin dinamik yapıda olması, farklı basamaklar arasında sabit bilgi, ürün ve fon akışını içermesi ve bu basamakların da birbiri ile etkileşimli farklı hiyerarşik geri beslemeli süreçleri barındırması sebebiyle dinamik simülasyon ile analiz yapılması gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca; sistem dinamiğinin özellikle uzun dönemli, kronik ve dinamik yönetim problemleri için tasarlanan modelleme ve simülasyon tekniği olması sebebiyle, bu yöntem kapalı döngü taşıyıcı ekipman yönetiminin modellenmesinde bazı araştırmacılar tarafından tercih edilmiştir (Vlachos ve diğ., 2007).

Bunların yanında, operasyon yönetimi ve sistem dinamiği yayın taraması kapasite planlama için sürekli simülasyon modellerin kullanımını desteklemektedir. Örneğin; Anderson ve diğ. (2005) çalışmasında kapasite belirleme problemi çözümü için sürekli zaman modelini kullanmıştır. Çünkü, sistem dinamiğinin özellikle de hizmet organizasyonunda yer alan personel kiralama ve çıkarma prosesine bağlı süregelen kapasite ayarlama için mantıksal yakınsama sağladığını iddia etmektedir.

Sistem dinamiği ile modellemenin bir diğer tercih sebebi de; belirli bir performans ölçütünün tahminlemek yerine, sistemin global anlamda trendini tanımlamak için kullanılmasıdır (Pierreval ve diğ., 2007).

Konteyner taşıma zincirinin; kapalı döngü bir tedarik zinciri ağı yapısına sahip olması, farklı basamaklar arasında bilgi, ürün ve fon akışını içermesi ve bu basamakların da birbiri ile etkileşimli farklı hiyerarşik geri beslemeli süreçleri barındırması, dinamik ve karmaşık yapıya sahip olması vb. sebeplerden dolayı bu

çalışmada, modelleme tekniği olarak sistem dinamiği kullanılmıştır. Kapasite planlama konusunda yatırım ve taşıma planlama kararlarının zaman boyutunda farklı kararlardan etkilenmesi, ilgili politikaların bütünsel olarak bakıldığında hizmet ve karlılığa etkisinin olması, yayın taramasında da sistem dinamiğinin önerilmiş çözüm yaklaşımı olarak önerilmiş olması; bu yöntemi öne çıkartan sebeplerdir.

İlgili bölümde öncelikli olarak sistem düşüncesi ve sistem dinamiği kavramları ile bu kavramların ortaya çıkmasına sebep olan faktörler paylaşılmıştır. Ardında sistem dinamiğinin yapısı ve bileşenleri paylaşılmıştır. Üçüncü alt bölümde ise ilgili metodolojinin hangi aşamaları içerdiği sunulmuştur. Dördüncü alt bölümde ise sistem dinamiği kavramsal modelleme aşamasında kullanılan bir araç olan nedensel döngü diyagramı bileşenleri paylaşılmıştır. Beşinci alt bölümde ise sistem davranışı ile ilgili kısa örneklere yer verilmiştir.

4.1 Sistem Düşüncesi ve Sistem Dinamiğine Genel Bakış

Gerçek hayatta değişim hızının ve süreçlerdeki karmaşıklık seviyesinin artması ile birlikte, yönetim eylemlerinin ve örgütsel yapıların davranışlarını ve sorunlarını anlamak, tanımlamak ve çözüm yolları üretebilmek amacı için farklı yaklaşımlar ve araçlar geliştirilmektedir. Bilimsel yaklaşımın ve öğrenmenin temelinde yatan yaklaşımlardan biri; problemi onu oluşturan parçalar bölmek, her birini ayrı ayrı incelemek ve bu noktadan hareketle bütün probleme ilişkin sonuç çıkarmaktır (Gökçe, 2008).

Birbiri ile devamlı etkileşim içerisinde ve artan bağımlılıkta olan, buna bağlı olarak birçok değişken faktörün baskın olduğu sosyoekonomik sistemlerin davranışları, yeni yaklaşım ihtiyaçlarına zorlamıştır. Çünkü doğrusal ve mekanik düşünüşü içeren yaklaşımlar, modern dünyanın problemlerini çözmede yetersiz kalabilmektedir. Bütünün davranışının çoğu kez bileşenlerin tekil olarak ele alınması ile açıklanması zordur (Öğüt ve Şahit, 2012). Bu sebeple; mevcut sorunları ve kavramları, onları oluşturan etmenleri ve bu etmenlerin birbiri ile ilişkilerini inceleyerek sorunlara yaklaşmayı temel alan sistem düşüncesi yaklaşımı yardımıyla ilgili problemlerin analiz edilebileceği ortaya atılmıştır. Sistem Düşünüşü; örgütün çalışmasının daha fazla geliştirilmesine ilişkin düşünce yönteminin daha verimli kullanılmasını amaçlamaktadır (Gökçe, 2008). Forrester (1961)'a göre geleneksel modelleme yöntemleri olan matematiksel modeller, gerçek sistemin doğrusal olmayan yapısı ve

birçok geri bildirim döngüsünü içermemesi sebebiyle kısıtlıdır. Ona göre sistem düşüncesinden türetilmiş bir yöntem olan sistem dinamiği, gerçek sistem davranışını yansıtabilir.

4.1.1 Sistem düşüncesi

Sistem düşüncesi tanımı ile ilgili araştırmacılar birçok tanım ortaya atmışlardır. Sistem düşüncesi; organizasyonel karar ve davranışları içeren sistemleri oluşturan öğelerin, birbiri arasındaki ilişkileri incelemeye yönelik ve onları ortak bir işlevin parçası olarak algılayan metotlar, araçlar ve prensipler topluluğu olarak ifade edilebilir (Şenaras, 2016). Barry Richmond (1994); sistem düşüncesini, yapının altında yatan gittikçe derinleşen anlayışın gelişmesine neden olan davranış hakkında güvenilir çıkarımlar elde etme sanatı ve bilimi olarak tanımlar. Peter Senge (1990) ise sistem düşüncesini bütünü görmek için bir disiplin olarak ifade etmektedir (Ayanoğlu ve Gökçe, 2007).

Sistem düşüncesi; sistem hakkında düşünmeyi, sistemi gözlemlemeyi ve tanımlamayı ifade eder. Bütüncül yaklaşım, disiplinler arası yaklaşım ve bilimsel yaklaşım olmak üzere üç temel ilkeye dayanmaktadır. Bütüncül yaklaşım; sistemi birbiriyle ve çevresiyle etkileşimli bir bütünlük olarak görür ve bu yaklaşımda bütün öğeler birlikte düşünüldüğünde işlevsel bir anlam taşımaktadır. Sistemin içerdiği sorunlar birbirinden soyutlanamaz durumda olup, birine getirilen çözüm diğerlerini de etkileyebileceği gibi, yeni sorunların ortaya çıkmasına da yol açabilmektedir (Gönül, 2018). Bu yaklaşıma göre bir problem analiz edilirken ya da çözüm aranırken etkileşimli olduğu tüm öğelerin de dikkate alınması gerekmektedir. Farklı bilim alanlarının bir araya getirilerek sorunlara farklı açılardan bakıp, karar alma ve çözüm üretme çabası ise disiplinler arası yaklaşım ilkesini ifade eder. Bilimsel yaklaşım ise problem çözümü sürecinde gözleme, deneye, ispata dayalı geliştirilen uygun bilimsel yöntemlerden faydalanılmasıdır (Sezen, 2007; Şenaras, 2016).

Kavramsal bir çerçeve olan sistem düşüncesi; sistem bütünüünün açık bir şekilde görünmesini ve bunları etkin bir şekilde nasıl değiştirebileceğimizi görmemize imkan sağlamaktadır (Senge ve diğ. 1994). Sistem, sınırları belirlenmiş birbiriyle ilişkili elemanların kümesi olarak tarif edilebilir (Sezen ve Günel, 2009).

Geleneksel analitik yaklaşımlar, bir sistemin davranışını tahmin etmek veya altında yatan problemleri açıklamak için sistemin anlık durumlarına yoğunlaşmaktadır.

Ancak gerçek dünyada olaylar, sistemin davranışının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Sistem davranışını belirlemezler. Bu nedenle, davranışın oluşum şeklinin incelenmesi için sistemin elemanları arasındaki etkileşimlerin oluşturduğu sistem yapının belirlenmesi gerekir. Sistem düşüncesi yaklaşımının temeli sistemin elemanları arasındaki etkileşimlerin oluşturduğu bütünü görmeye ve anlamaya dayanmaktadır. Gerçek dünyada karşılaşılan problemlerin daha iyi anlaşılabilmesi için izlenecek yaklaşımın; doğrusal nedensellik yerine, karşılıklı bağımlılık olgusuna dayanmasının gerekmektedir (Şenaras, 2016, Gökçe, 2018). Bir sistemin davranışının altında yatan neden her parçanın ne yaptığından ziyade, parçaların birbiri ile nasıl etkileşimde olduğu ile ilgilidir (Ayanoğlu ve Gökçe, 2007; Şenaras, 2016).

Günümüzün karmaşıık ve küresel bağımlı sorunlarının çözümü için konuyu, onu oluşturan bütün etmenlerin toplam etkisini ve meselenin zamana bağlılığını yani dinamikliğini de göz önüne alarak değerlendirmek, sistem düşüncesinin temelini oluşturan yaklaşımdır (Gökçe, 2008).

Sistem düşüncesi, basit matematiksel lineer kontrol teorisinde ve daha karmaşıık diğer alanlarda kullanılan lineer olmayan kontrol teorisinde geliştirilen sistem teorisi olarak da adlandırılmıştır (Gökçe, 2008).

4.1.2 Sistem dinamiği

Sistem teorisinin bir alanı olan sistem dinamiği, karmaşıık sistemlerin dinamik davranışını anlamak için geliştirilmiş bir yöntemdir (Gökçe, 2008). Sistem dinamiği, uzun dönemli, karmaşıık, kronik ve dinamik yönetim problemleri için kullanılan, temeli geri bildirimli kontrol teorisine dayanan modelleme ve benzetim tekniğidir (Barlas, Y. 2002). Organizasyonların benzetim modellemesinde geri bildirimli kontrol teorisinin uygulaması, 1950-1960 yılları arasında “Massachusetts Institute of Technology (MIT)” kurumundan Jay Forrester tarafından ortaya atılmıştır (Forrester, 1958). Başka araştırmacıların da katkılarıyla ilgili metodoloji; sistem teorisi, bilgi bilimi, örgütsel teori, kontrol teorisi, taktiksel karar verme, sibernetik ve askeri oyunlara dayalı olarak zenginleştirilmiş ve geliştirilmiştir (Abbas ve Bell, 1994; Shepherd, 2014). Sistem dinamiği metodolojisi; çok farklı alan, disiplin ve konudaki problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Savunma, kentsel ve bölgesel kalkınma, işletme yönetimi, bankacılık, endüstriyel alan ve çeşitli sanayiler, ekonomi, finans,

imalat, biyoloji, eğitim, sağlık, tıp, diş hekimliği, mühendislik, ormancılık, balıkçılık, enerji, çevre, ulaşım, psikoloji vb. konularda modelleme tekniği olarak geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Abbas ve Bell, 1994). Sistem dinamiği için yayın taramasında birçok tanımlama yapılmış olup, aşağıda bazı örnekler paylaşılmıştır.

Forrester (1961) sistem dinamiğini, yönetilen sistemlerin bilgi-geribildirim karakteristiklerinin araştırılması ve geliştirilen organizasyonel yapıların ve yol gösterici politikaların tasarlanması için model kullanımı olarak ifade etmektedir. Coyle (1996) ise sosyo-ekonomik sistemler ile ilgili olan kontrol teorisinin ve denetlenebilirlik ile ilgilenen yönetim bilimlerinin bir dalı olarak tanımlamıştır. Wolstenholme (1990) karmaşık sistemlerin süreçleri, bilgi akışları, organizasyonel sınırları ve stratejilerini tanımlayan, keşfeden ve analiz eden bir nitel yöntem olarak tanımlamaktadır. Radzicki (2007) ise sistem dinamiği yaklaşımını; karmaşık, doğrusal olmayan, dinamik geri bildirim sistemlerinin incelenmesinde ve sistemin performansını geliştirmek için politika tasarımında kullanılan bir benzetim yöntemi olarak tanımlamıştır (Şeranas, 2006).

Sistem dinamiği; dinamik düşünce ve neden-sonuç düşüncesi gibi birçok önemli düşünce becerisini kullanan disiplinler arası bir problem çözme yoludur. Sistem dinamiği, karmaşık ve etkileşimli konular hakkında anlaşılabilirliği sağlayan çok yönlü bakış açısını birleştirerek öğrenmeyi hızlandırabilen, işbirlikçi bir yaklaşımdır (Şeranas, 2006).

Sistem dinamiği; karmaşık, sosyal ve davranışsal sistemleri bileşenlerine ayırmada, ilgili bileşenleri tekrar bir bütün haline getirerek görselleştirmeye ve benzetim modelini geliştirmeye olanak sağlayan bir yöntemdir (Şeranas, 2006).

Sistem dinamiği, bütünsel sistem yaklaşımı ile yeni bir düşünce şekli sunmakta olup; keşfi zor olan karmaşıklık, belirsizlik ve zihinsel modellerle ilgilenir (Maani ve Cavana, 2007; Şeranas, 2006). Fiziksel süreç, bilgi akışı ve yönetim politikaları arasında etkileşimi anlamaya odaklanır. Bu yaklaşımın temeli; karmaşık sistemin varlığına, zaman içinde sistem davranışında değişikliklere ve kapalı döngü geri beslemesine dayanmaktadır (Suryani ve diğ., 2010). İlgili yaklaşım, büyük ölçekli karmaşık ve dinamik sistemlerin anlaşılması, görselleştirilmesi ve analiz edilmesi için etkin araç ve teknikleri sağlamaktadır (Dyson & Chang, 2005; Maani & Cavana, 2007; Zhao et al., 2011).

Sistem düşüncesi ve Sistem Dinamiği, iş, politika, sosyo-ekonomik ve çevresel sistemlerin karmaşıklığı ve değişimi altında yatan dinamiklerin, zorlukların açıklanmasına yardımcı olabilen kavramsal ve sayısal modelleme teknikleri ile bilgisayar teknolojisi sağlamaktadır. Sistem dinamiği, politika analizi ve tasarımı, öğrenme ve karar verme için kullanılır (Gökçe, 2008; Abdelbari ve diğ., 2015; Maani ve Cavana, 2007).

Sistem dinamiği modellemesinde ana amaç, davranışının nasıl ve neden değiştiğini anlamak ve daha sonra sistem performansını iyileştirmeye yönelik politikaları araştırmaktır (Vlachos ve diğ., 2007). Sistem düşüncesinin esaslarından biri, hangi çözümü neye karşılık diğerine tercih ettiğimiz bilincine varmaktır (Sterman, 2000). Karar vericilere, karar süreçlerinde yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Sistem dinamiğinde amaç optimizasyon değil, belirli değişimler karşısında sistemin davranışlarını incelemek ve stratejileri belirlemeye yardımcı olmak, sistemin davranışını makro seviyede ve uzun dönemde incelemektir (Şenaras, 2016). Örneğin; her hafta toplam tedarik zinciri kar seviyesinin belirlenmesi yerine, toplam kârın hangi koşullar ve politikalar altında daha yüksek olacağını göstermek için kullanılır (Vlachos ve diğ., 2007). Erkut (1983)'da çalışmasında bu savı destekleyerek; sistem dinamiği yönteminin temelde süreç modelleme tekniği olduğunu, amacının değişkenlerin değerinin optimizasyon yaklaşımlarındaki gibi en iyi düzeyde öngören denklemlerin bulunması olmadığını belirtmiştir. Bunun yerine sistem dinamiğinin karar verme süreçlerini yeniden üretmeye yönelik çaba gösterdiğini savunmuştur. Yani ilgili yöntem bir öngöründen çok, bir açıklama ve politika tasarımı üzerine odaklanır (Şenaras, 2016).

Sistem dinamiği, sistemin bütünsel görünümünü elde etmeyi ve etkileşimlerin bir bütün olarak sistemi nasıl etkilediğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım sorunlara büyük pencereden bakarak sistemin performansının takibi, geliştirilmesi veya yeniden düzenlenmesi süreçlerini kolaylaştırır. Geniş açıdan baktığı için de sistemin bir bölümünün performansının iyileşirken diğer bölümlerinin bozulmasının engellenmesini sağlamaktadır (Hesan ve diğ., 2014; Başkaya, 1997; Özbayrak ve diğ., 2007; Towil, 1996; Şenaras, 2016).

Li ve diğ. (2017) sistem dinamiğini iki boyuta ayrılabilen geniş bir kavram olarak tanımlamışlardır: “Sistem”, sistem yapısı ve geri besleme etkisi kavramını temsil ederken, “Dinamik” ise zaman içerisinde sistem bileşenlerinin davranışlarındaki

değişimi niteler. Sistem dinamiği, zaman içerisinde bir şeylerin nasıl değiştiğiyle ilgilenir (Forrester, 1995). Eğer bir şey dinamik ise sürekli değişmektedir ve dinamik bir sistem zamanla değişime yönlendirici etkileşimlerin olduğu bir sistemdir. Zamanla değişen bir sistemi oluşturan elemanlar ve değişkenler sistemin davranışı olarak ifade edilir. Sistem dinamiğinde yukarıda da ifade edildiği gibi amaç, değişkenlerin temel davranış biçimlerinin anlaşılması, buna sebep olan etkenlerin bulunması ve sistemin davranışının iyileştirilmesidir.

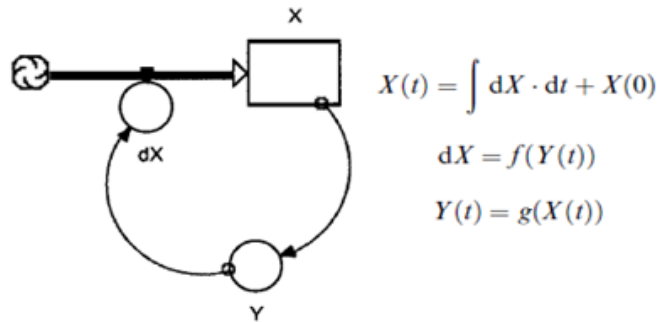
Morecroft (2015)'e göre dinamik karmaşıklık, sosyal ve iş sistemlerini birbirine bağlayan bağlantılardan ve bağımsızlıklardan kaynaklanmaktadır. Sistemin bir bölümünde bir değişim meydana geldiğinde, bu değişim daha sonra başka bir bölümde etkilerin oluşmasına sebep olur (Gökçe, 2008). Dinamik karmaşıklığın ortaya çıkmasına sebep olan sistem özellikleri aşağıda paylaşılmıştır (Stermann, 2000):

- Dinamik: Sistemler zaman içerisinde sürekli değişir.
- Yakın ilişkide olma: Sistemin bileşenleri arasında güçlü bir etkileşim vardır.
- Geribildirim tarafından yönetilme: Kararlar değişime neden olur ve diğer sistem bileşenlerini harekete geçmesini tetikler. Eylemler kendilerine geri dönerler.
- Doğrusal Dışılık: Sistemler çoğunlukla doğrusal olmayan bir yapıdadır; yani etkiler genel olarak ortaya çıkarmış oldukları sonuçlarla orantılı değildir.
- Tarihsel bağlılık: Birçok eylemin geri dönüşü yoktur. Gerçekleştirilen bir eylem birçok geri bildirim sonucunda geri dönülemez etkilere neden olur.
- Kendini organize edebilme: Bir sistemin dinamiği kendi içsel yapısından doğar.
- Uyarlanabilir: Kurallar ve yetenekler zaman içerisinde değişir. Zaman içerisinde gelişmesiyle seçim ve çoğalmaya olanak sağlar.
- Sezgilere aykırılık: Neden ve etkiler zamansal ve mekânsal olarak birbirinden farklıdır. İnsanlar açıklamaya çalıştıkları olayların yakınlarında nedenleri ararlar.

- Politikaya Direnç: Üzerinde çalıştığımız sistemin karmaşıklığı sistemi anlama kabiliyetimizi azaltabilir. Sonuçta, açıkça görünen birçok çözüm başarısız olur hatta durumu daha da kötüleştirir.
- Uzlaşmanın Belirlenmesi: Zaman gecikmesi geribildirimleri kısa ve uzun dönemde farklı tepkiler verir.

Sistem dinamiği, karmaşık sistemlerin yapısının ve dinamiklerin anlaşılmasına imkan sağlar. Bir sistem gecikme, geri besleme ve çok sayıda stok içeriyor ise karmaşık bir sistem olarak ifade edilebilir. Karmaşık sistemlerin anlaşılmasında matematiksel araçlar, tek başlarına yeterli olmaya bilirlir. Bu sistemler; fiziksel ve teknik araçlar yanında insan ve sosyal sistemleri de içerir. Bilişsel ve sosyal psikoloji, iktisat ve diğer sosyal bilimlerle de doğrudan ilişki içinde olmasından ötürü disiplinler arası bir yöntem olan sistem dinamiği karmaşık sistemlerde davranışın anlamlandırılmasında etkili bir araçtır (Öğüt ve Şahit, 2012; Senge, 2002; Sterman, 2000).

Sistem yapısı stok (birikim) ve akış (oran) değişkenlerini içerir. Stok değişkenleri sistem içerisindeki birikimi tanımlarken, akış değişkenleri ise karar verme sürecinden türetilen akışları ifade eder. Modelde bir değişken değerde birikim varsa o birikim iken, birikimlerin değerini değiştiren ise akıştır. Sistem içerisindeki parametreler arasındaki ilişki *stok akış diyagramları* ifade edilmektedir. Stok akış diyagramları diferansiyel denklem setlerini ifade etmektedir ve bu denklemler dinamik simülasyon yardımıyla çözülür. Bunun dışında birde yardımcı değişken (auxiliaries) olarak tanımlanan birikim ve akış dışında değeri anlık değişen bir bileşen daha bulunmaktadır. Şekil 4.1’de stok akış diyagramlarının şematik gösterimine yer verilmiştir.



Şekil 4.1 : Stok akış diyagramlarının şematik tanımlaması (Helo, 2000).

4.2 Sistem Dinamiğinin Modelinin Yapısı

Sistem dinamiği modeli, gerçek sistemlerin dinamiklerinin incelenmesi amacıyla kullanılan, gerçek sistemin kavramsallaştırıldığı yapılardır. Modeller; alternatif kararların, ekonomik performans ve çevresel kalite üzerindeki etkilerinin anlaşılmasını kolaylaştırmak için kurulur ve yeni bilgilerin elde edilmesinde önemli araçlardır (Ruth ve Hannon, 2012).

Gönül (2018) çalışmasında, Forrester (1969) tarafından bir sistemin dinamik davranışlarını modellemek için dört hiyerarşik yapı tanımlanması gerektiğini söylediğini belirtmiştir. Bu hiyerarşik yapılar:

1. Sistem çevresindeki kapalı sınır
2. Kapalı sınır içerisindeki temel yapısal elemanlar olarak geri bildirim döngüleri
3. Geri bildirim döngüleri içerisinde yer alan toplamaları gösteren stok (durum) değişkenleri
4. Geri bildirim döngülerindeki eylemleri gösteren oran (akış) değişkenleri

Bir sistemin bütün kavramını geliştirmek için sistemin karakteristik davranışlarını oluşturan etkileşimlerin yer aldığı sınırlar oluşturulmalıdır (Forrester, 1969).

Sistemin yapısını Barlas (2012) “sistem değişkenleri arasında var olan ilişkilerin toplamı” olarak tanımlamıştır. Örneğin; Bir imalat sisteminde sistem yapısı; üretim ile ilgili malzeme ve bilgi akışını, stokların nerede ve nasıl stoklandığını ve sevk edildiğini, sipariş ve üretim kararlarının nasıl alındığı vb. süreçleri içermektedir. Sistem yapısı; zamanla ilişkili olup, sistem değişkenlerinin dinamik davranış biçimlerini üretir. Yine üretim sisteminden örnek verilirse üretim biriminin yapısı zamanla üretim hızı dinamikleri, hammadde siparişi, stok dalgalanması ve sistem sınırına bağlı olarak ürün kalite ve satış dinamiklerini üretmektedir. Sistem bünyesindeki geri bildirim döngülerine ve gecikmelere bağlı olarak farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Ana dinamik davranış biçimi Bölüm 4.5’te sunulmuştur.

Bir sistem dinamiği modelinin yapısı, matematiksel olarak denklem şeklinde temsil edilen model değişkenleri arasındaki ilişkiler kümesinden oluşur. Yani, bir sistem dinamiği modelinin yapısı bir dizi diferansiyel ve/veya fark denklemlerinden oluşur. Dinamik bir modelin; eğer elde edilebilirse analitik (matematiksel) çözümü,

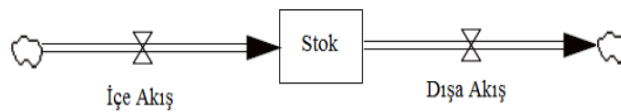
değişkenin dinamik davranışları için kesin formülü verecektir. Dolayısıyla, bir modelin dinamik davranışını elde etmenin bir yolu onu analitik olarak çözmektir. Bu durum genellikle doğrusal durumlar için mümkün olup, doğrusal olmayan durumlar için karmaşıktır ve bazen de mümkün değildir. Karmaşıklığı yüksek bu durumlarda ise modelin dinamik davranışını incelemek için simülasyon tekniklerinden yararlanılır. Simülasyon esasen sıkıştırılmış zaman boyutunda model yapısının adım adım çalışmasıdır. Model kavramı yapıyı ve yapıyı tanımlayan denklemler kümesini ifade etmektedir. Dinamik sistem modelini oluşturan öğeler dört grupta sınıflandırılabilir: Stoklar, akışlar, karar fonksiyonları ve bilgi akışı.

4.2.1 Stok ve akışlar

Stok, birikim olarak tanımlanırken; akış, stokların seviyelerini değiştiren oranı ifade eder. Stoklar içe akış ve dışa akış arasındaki birikmiş farktan oluşan değişkenlerin mevcut değerleridir.

Stok kavramı, hammadde veya nihai ürün stoğu gibi kavramları ifade ettiği gibi; fon giriş ve çıkışları ile elde edilen nakit dengesi, işletme hacmi, farklı nitelik ve deneyimdeki çalışan sayısı ile işgücü gibi birikimleri de ifade etmek için kullanılabilir (Sezen ve Günel, 2009; Erkut, 1983; Gönül, 2018).

Stok, belirli bir τ zamanında var olan nesnelerin toplamıdır. Stoğu belirli bir t zamanında x ile ifade edersek, t 'nin gerçek sayı olması koşuluyla stokları $x(t)$ ile ifade edilebilir (Yamaguchi, 2013). $X(t)$ belirli bir zaman dilimindeki stok değerini gösterir.



Şekil 4.2 : Stok ve akışlar.

Stoktaki birim zaman aralığındaki azalışı ya da artışı, akış tanımlamaktadır ve $f(t)$ ile ifade edilir. t ve $t+1$ arasındaki süreye birim zaman aralığı denilmektedir. Birim; saniye, dakika, saat, gün, hafta, ay, yıl olarak tanımlanabilir. Akış, kesikli akış olarak adlandırılan her bir kesikli zaman periyodunda tanımlanabilmektedir. Burada akış, zamanın iki nokta arasındaki (birim zaman aralığındaki) miktarı ile ilgili iken; stoklar, zamanın belirli noktasındaki miktar olarak tanımlanır. Akış, stoğun değişim

oranını ifade eder ve akış, stoğun bir parçasıdır. Bu nedenle, akış ve stoğun birimlerinin örtüşmesi gerekir.

t ile $t+1$ zaman aralığını ifade ettiği için t . zaman aralığının stok miktarı $X(t)$, zaman aralığının başlangıç zamanı olan t ile zaman aralığının bitiş zamanı $t+1$ 'in stok miktarı olarak tanımlanabilir. Denklem (5.1) zamanın bir anı ile zaman aralığını birleştirir.

$$X(t+1)=f(t)+X(t), \quad t= 0,1,2,3,\dots \text{ için} \quad (5.1)$$

İlgili süreç sürekli akışa sahip ise, zaman birimleri n tane alt zaman dilimine bölünür ve denklem 5.2 gibi ifade edilebilir (Yamaguchi, 2013). d_t , birim zaman değişimini ifade eder iken d_x ise birim zamandaki değişken değişimini ifade etmektedir.

$$\begin{aligned} X(t) &= X\left(t - \frac{1}{n}\right) + \frac{f\left(t - \frac{1}{n}\right)}{n} \\ &= X(t - \Delta t) + f(t - \Delta t)\Delta t \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{X(t) - X(t - \Delta t)}{\Delta t} \right) \equiv \frac{d_x}{d_t}, \quad \Delta t \rightarrow 0 \text{ için} \quad (5.3)$$

$$f(t) = \frac{d_x}{d_t} \quad (5.4)$$

Akış ve stokların sürekli olduğu durumlarda t 'deki stok miktarı aşağıdaki diferansiyel denklem yardımıyla bulunur.

$$d_x = f(t)d_t \quad (5.5)$$

$$X(t) = X(0) + \int_0^t f(u)d_u \quad (5.6)$$

Yukarıdaki formül ile diferansiyel denklemin genel çözümü elde edilir. Sürekli ile kesikli akışlar arasındaki tek fark, sürekli akışta integral, kesikli akışta ise toplam işlevlerinin kullanılmasıdır (Yamaguchi, 2013).

Yamaguchi (2013) çalışmasında stokları, doğal yapılarına göre altışar sınıf altında toplamış ve örneklendirmiştir. Stok sınıf ve örnekleri aşağıda paylaşılmıştır.

- Doğal stoklar; dünya nüfusu, ormanlardaki kuş ve ağaç sayıları, göldeki su miktarı vb. doğal çevremizde var olan stoklardan oluşur.
- Sermaye stokları, tüketim ürünlerini üretmek için kullanılan makine, fabrika ve yapı gibi üretim araçlarıdır. Süreç ve kullanımdaki ürünler, üretilmiş ürünler ve imalat safhaları arasında bulunan ara ürünlerden oluşur.
- Bilgi; fiziksel olmayan stok olup, çeşitli medya araçların içerisinde depolanabilir. Örneğin; kitap, CD, DVD vb. örnek gösterilebilir.
- Psikolojik tutkular, insanların duygusal stoklarıdır. Aşk, mutluluk, üzüntü, sinir vb. duygular örnek gösterilebilir. Bu duygular, beynimizin içinde bir yerde depolanır.
- Endekslenmiş rakamlar, saklanan bilgilerin özel bir biçimidir. Doğa ve insan aktivitelerini tanımlamak için kullanılır. Sıcaklık, fiyat, satış değerleri vb. ölçüler örnek olarak verilebilir.

Akışlar ise Forrester (1962) tarafından altı sınıfta toplanmıştır. Bunlar: bilgi, malzeme, personel, sermaye ekipmanı, siparişler ve para olarak aşağıda yer alan maddelerde açıklanmıştır.

- **Bilgi Akışı:** Bilginin yaratımı, kontrolü ve dağıtımı işletme yönetiminin en önemli görevidir. Diğer akış tiplerinden farklı olarak, bilgi aynı zamanda birçok yerde paylaşılabılır durumdadır.
- **Malzeme Akışı:** Hammadde, işlemdeki envanterler veya bitmiş mamuller gibi fiziki malların üretim ve dağıtım sürecindeki stok ve akışlardan oluşmaktadır.
- **İşgücü Akışı:** Genellikle mevcut personeli kapsamaktadır.
- **Sermaye Akışı:** İşletme alanı, mal üretimi için gerekli her tür donanımı içermektedir.
- **Sipariş Akışı:** Ürünler için sipariş, eleman alımı için talepler, yeni araç ve yer için sözleşmeleri içermektedir.
- **Para Akışı:** Para akışı, farklı para stokları arasındaki paranın iletimidir. Genellikle nakdi ifade etmek için kullanılmıştır (Kirkwood, 1998; Erkut, 1983; Gönül, 2018).

4.2.2 Karar fonksiyonları ve bilgi akışı

Karar fonksiyonları, stoklardaki mevcut bilginin karara dönüşümünün nasıl olacağını belirleyen politikanın durumlarıdır ve tüm kararlar bir eylem üretirler (Gönül, 2018). Yaygın olarak akış oranı olarak da adlandırılır.

Akış oranları, yalnızca stoklardaki bilgiye göre belirlenir. Diğer oranlar, akış oranını belirlemezler. Erkut (1983) bu ilkenin her durumda geçerli olduğunu bildirmiştir.

4.3 Sistem Dinamiği Modeli Aşamaları

Sistem Dinamiği disiplinde, problemlerin ortaya konması ve çözülmesinde uyguladığı yöntem, problemin niteliğine ve modelleme yapan kişinin yaklaşımına göre farklılaşmakla birlikte şöyle özetlenebilir. Başlangıç aşamasını, sistem düşüncesinden yararlanılarak problemin sözel olarak tanımlanması ve ardından kavramsallaştırılması oluşturur. Sonrasında da sistem dinamiği modellemesi yapılarak çözümlemeye geçilmektedir. Farklı araştırmacılar çalışmalarında modelleme için çeşitli adımlardan oluşan sistem dinamiği modelleme yaklaşımı önermişlerdir (Coyle, 1996, Barlas, 2012). Önerilen yaklaşımlar içerik bakımından aynı olmakla birlikte, aşama tanımları farklılaşabilmekte ya da belirli aşamalar iç içe paylaşılabilir.

4.3.1 Problem belirleme ve tanımlama

Sistem dinamiği modellemesi ile dinamik bir problemin analizi için kullanılmaktadır. Barlas (2012) modellemenin başarısı için anlamlı dinamik geri bildirimli bir problemin seçimi ve açık bir şekilde dile getirilmesinin kritik olduğunu belirtmiştir. Problemin dinamik olmasının yanında, niteliğinde geri bildirim yaklaşımını da bulundurma gerektğini ilave etmiştir.

Dinamik problemler, grafikleştirilmiş verilerden gözlenebilen davranış biçimleri yardımıyla karakterize edilebilir veya mevcut nitel bilgilerden çıkartılabilir. Barlas (2012) problemin belirlenmesinde aşağıdaki adımların izlenmesini tavsiye etmiştir.

- Mevcut tüm dinamik verileri çizin ve dinamik davranışlar inceleyin
- Problemin zaman ufku ve temel zaman birimini belirleyin

- Referans dinamik davranışını belirleyin: Temel değişkenlerin temel kalıpları nelerdir? Veriler ile önerilenler ve veri olmadığı durumda varsayımlar nelerdir?
- Dinamik problemin açık bir şekilde ne olduğunu, sorunun analiz ve çözümünde çalışmanın nasıl katkı sağlayacağını yazın.

Problem seçimi ile birlikte amacın net bir şekilde tariflenmesi de modelleme başarısı için önemli bir bileşendir. Açık bir amaç tanımlaması, araştırmacıya geliştirilecek modelin ne şekilde yarar sağlayacağı, yararlı olup olmayacağı hakkında sorgulamalar yapmasına yardımcı olacaktır. (Serman, 2000, Şenaras, 2006).

4.3.2 Model kavramsallaştırma

Bu aşamadaki amaç, hipotezlerin ve problemin dinamiklerinin arkasındaki nedenleri açıklayan teorinin geliştirilmesidir. Sonraki aşamada bu aşamada geliştirilen hipotezler, benzetim modeline dönüştürülecek ve hipotezler test edilecektir. Dinamik hipotezler kavramsal model olarak isimlendirilebilir. Çünkü hipotezlerimizi tanımlayan model, bu aşamada henüz test edilebilir bir yapıda değildir. İlgili aşama aşağıdaki ana faaliyetleri içermektedir:

- Gerçek problem ve/veya yayın taramasında yer alan ilgili teorik bilgiler araştırılır.
- Problemin temelini yaratmada rol oynayabilecek tüm değişkenler listelenir.
- Bu değişkenler arasındaki başlıca nedensel etkileri ve geri besleme döngüleri belirlenir.
- İlk nedensel döngü diyagramı oluşturulur ve alternatif hipotezler keşfedilir.
- İhtiyaç dahilinde değişkenler eklenip çıkartılarak nedensel döngü diyagramı son haline getirilir.
- Ana stok ve akış değişkenleri belirlenir.
- Kavramsal model, benzetim modeli inşası için son haline getirilir.

Benzetim modeline geçmeden geliştirilen nedensel döngü diyagramı üzerinden nitel analiz çalışmaları yürütülür. Bazı araştırmacılar nitel analiz aşamasını, benzetim modeli geliştirme aşamasından önce ayrı bir aşama olara tanımlamaktadırlar (Şenaras, 2006). Problemin daha iyi anlaşılması için etki diyagramları detaylı

incelenir, teorik doğrulaması yapılır ve çıkarımlarda bulunulabilir. Şenaras'ın (2006) çalışmasında da bahsettiği üzere; sistem dinamiğinin en önemli adımı olan bu adım, modellemeyi anlamlı sonuçlara taşımakta ve bazen de ileri adımların uygulanmasına gerek kalmadan problem çözülebilmektedir.

4.3.3 Benzetim modeli geliştirme

Bazı problemler niteliksel analizler yardımıyla çözümlenemeyecek şekilde karmaşık yapıdadır. Bu tarz problemler matematiksel olarak modellenerek, bilgisayar yardımıyla ilgili matematiksel denklemler çözdürülmektedir. Bu aşama benzetim modelinin geliştirildiği aşama olup aşağıdaki adımları içermektedir (Barlas, 2012):

- Stok akış diyagramları oluşturulur. Bu stok akış diyagramları modelin yapısıdır.
- Her değişken için neden-etki ilişkisini tanımlayan matematik denklemler yazılır.
- Stokların başlangıç değerleri ve parametrelerin sayısal değerleri tahmin edilir.
- Modelin iç tutarlılığı ve kavramsal modelin doğrulaması yapılır.

4.3.4 Model geçerlilik (güvenilirlik) testi

Modelin çalışmanın amacına uygun olarak gerçek problemi ve gerçek dünya koşullarını yansıtıp yansıtmadığını kontrolü için modeli geçerliliği ve kalitesinin analizi gerekmektedir (Georgiadis ve Besiou, 2010). Barlas (2012) çalışmasında, model geçerliğinin “Yapısal” ve “Davranışsal” olarak incelenebileceğini belirtmiştir. Literatürde birçok yapısal ve davranışsal testler ile ilgili öneriler paylaşılmıştır.

Yapısal geçerlilik testler; model yapısının, gerçek ilişkileri iyi bir şekilde tanımlayıp tanımlayamadığı ile ilgilenir. Yapısal geçerlilik testleri için model yapısının uzmanlar tarafından değerlendirilmesi, gerçekçi parametre tanımlamaları ile boyutsal tutarlılık kontrolü, ekstrem durumlar altında denklemlerin sağlamlığı ve ekstrem koşul benzetimleri gibi testler önerilir (Barlas, 2012).

Davranışsal geçerlilik testleri, model davranışındaki ana davranış bileşenleri ile gerçek davranıştaki davranış bileşenlerinin kıyaslaması için tasarlanmaktadır. Bu tür davranış ölçüleri; eğim, maksimum ve minimum nokta, salınım periyotları ve genlikleri, bükülme noktaları vb. ölçütleri içerir.

İki test prensipleri de bir modelin geçerliliği için önem arz etmektedir. Barlas (2012)'a göre ilk olarak yapısal geçerliliğin sağlanmış olması gereklidir ve yapısal geçerlilik sağlanmadığı sürece sistem dinamiğinde davranış geçerliliği anlam ifade etmez. Ayrıca davranışsal testlerde, model davranışı ile gerçek davranışın nokta nokta karşılaştırılmasının yerine, her ikisi için davranışların kıyaslanmasının anlamlı olduğunu belirtmiştir. Vlachos ve arkadaşları (2017) da çalışmalarında bu konuya atıfta bulunarak sistem dinamiği modellemesinin amacının davranışın nasıl ve neden değiştiğini anlamak olduğunu belirtmiştir. Bu metodoloji, optimum sonucu aramak yerine sistemin davranışı ile ilgilenir.

4.3.5 Model analizi

Model geçerlilik testlerinden sonraki aşamada amaç, modelin dinamik özelliklerinin anlaşılmasıdır. Bu aşama sıklıkla matematiksel/analitik metotlar yardımıyla yürütülür (Barlas, 2012). Genel olarak sistem dinamiği denklemlerinin matematiksel olarak çözümü ve model analiz faaliyetleri için benzetim yaklaşımından yararlanılır. Potansiyel değişimlerin etkilerinin ne olduğu ve bu etkilerin sistem döngülerini nasıl etkilediği anlamak için benzetim çalışması yapılır (Şenaras, 2006). Sistemin farklı koşul ve politikadaki davranışı analiz edilir. Bir dizi simülasyon çalışması ile modelin özellikleri hakkında kesin olmasa da oldukça güvenilir bilgi sağlayabilir (Barlas, 2012).

Seçilen parametreler, girdiler, başlangıç koşulları, fonksiyon şekillerin değişiminin davranış çıktısını nasıl değiştirdiğinin analizi için de duyarlılık analizleri bu aşamada gerçekleştirilir. Bu duyarlılık analizleri, değişen parametre koşullarında politika tercihlerinin etkisini ortaya koymaya yardımcı olur. Aynı zamanda amaç fonksiyonu doğrultusunda seçilen politikanın hangi parametre aralığında kararlı olduğu da duyarlılık analizleri ile saptanabilir.

Model iyileştirme çalışmaları için modelin test çalışmalarının tamamlanması ve model özelliklerinin anlaşılmasından sonra modelin dinamiklerini ne ölçüde geliştirebileceklerini görmek amacıyla alternatif politikalar test edilir (Barlas, 2012). Barlas (2012)'a göre bir politika karar vermenin genel bir yolu olup, karar kurallarıdır. Geliştirilen politikalar, içinde olacağı çevreyi düşünülerek oluşturulmalı ve gerçekçi olmalıdır. Farklı çevre koşulları ve senaryolarda çalışabilir olacak şekilde

sağlam olmalıdır. Eski politikadan yeni politikaya geçişte sistemin davranışı simülasyon çalışmaları ile dikkatlice gözlemlenmelidir.

4.3.6 Modelin uygulanması

Uygulamalı bir sistem dinamiği projesinin nihai başarısı, kanıtlanabilir ve sürdürülebilir bir sistem iyileştirmesi anlamına geldiğinden hayati derecede önemli bir adımdır (Barlas, 2012). Bu adımda simülasyon modelleri ile yapılan politika analizleri sonuçlarının kıyaslaması ile politika seçimleri gerçekleştirilir.

Senaryo planlama ve strateji geliştirme faaliyetleri de bu aşamada yürütülür. Senaryo planlaması, yöneticilerin işlerini etkileyen güçleri belirlemesi için bir çerçeve sağlar. Bu sayede potansiyel riskler ve olasılıklar yakalanır, bunlara göre gelecek aksiyonlar ve kararlar şekillendirilir (Gönül, 2018). Gönül (2018) çalışmasında, “politika” yı tek bir model değişkeninin değişmesi olduğunu, “strateji”nin politika kümelerinin kombinasyonu ve değişikliklerinin kontrol edilmesi ile ilgilendiğini belirtmiştir. Senaryo planlama kapsamında da model, farklı politikalar ve stratejiler kullanılarak çeşitli koşullara tabi tutulur.

4.4 Nedensel Döngü Diyagramları

Sistem dinamiği metodolojisinde sistem yapısı, nedensel döngü diyagramları ile tasvir edilmektedir ve bu diyagramlar geri besleme mekanizmasını yansıtır (Georgiadis et al., 2005). Geri bildirim döngüsü, sistemin temel yapı taşıdır. Sistem teorisinde geri bildirim, sebep ve sonuç arasındaki karşılıklı etkileşim anlamına gelir. Sistem düşüncesinde geri bildirim, her etkinin aynı zamanda hem sebep, hem sonuç olacağı bir önerme olarak kabul edilir (Martin, 1997b: 6; Forrester, 1969: 13; Sterman, 2000; Senge, 2002; Şenaras, 2016).

Sistem dinamiği modelleme tekniği, sistem parametreleri ve bu parametrelerin birbirleri ile etkileşimi esasına dayanır. Söz konusu etkileşimler geri bildirim süreçlerini yaratmaktadır. Geri bildirimler, süreci tanımlamaktadır. Modelde yer alan bir bileşen modeldeki başka bir bileşende değişime neden olur ve bu değişiklikler model içerisindeki bileşenlerde başka değişiklikleri tetikler (Morecroft, 2012). İlgili bileşenler birbirini pozitif veya negatif yönlü etkileyerek değişimi sağlar ve bu bileşenler arasında geri beslemeler oluşur (Oğuz, 2019). Geri bildirim döngüsü, eylem ile onu çevreleyen sonuçları birbirine bağlayan kapalı bir yoldur ve

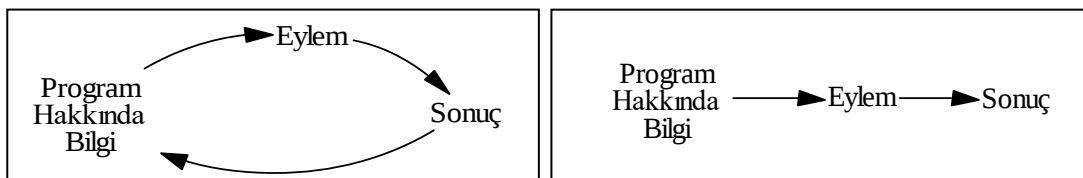
sonuçlanan durumlar bilgi olarak geri dönerek sonraki eylemleri etkiler (Forrester,1973).

Geri bildirim döngüsünün yapısı incelendiğine en az bir akış ve stok içermelidir ki zaman içerisinde ilerleme gerçekleşebilsin aksi takdirde davranış oluşmaz (Wolstenholme, 1990).

Dinamik bir sistemde hangi bileşenin diğerinde değişime neden olduğunu göstermeyi amaçlayan nedensel döngü diyagramları, ilk olarak 1963 yılında Murayama tarafından önerilmiştir. Nedensel döngü diyagramları, geri bildirim sistemlerinin etkileşim içerisinde bulunan elemanlarını haritalandırmasının basit bir yolu olarak tarif edilebilir (Şenaras, 2016). Bu diyagramlar, geri bildirim sistem tasarımcıları için görsel araçlardır (Morecroft, 2007) Bu diyagramlar etki diyagramları olarak da literatürde isimlendirilmektedir (Wolstenholme, 1990).

Sistem içerisinde var olan değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini ve birbirleri üzerindeki etkilerini göstermek için nedensel döngü diyagramları kullanılmaktadır. Nedensel döngü diyagramları sistem dinamiği çalışmalarında iki önemli rol oynamaktadır: İlk rolü, model geliştirme sürecinde ön taslak görevi görmesidir. İkinci rolü ise, nedensel döngü diyagramları modelin tasvirini kolaylaştırır. Dolayısıyla bu diyagramlar, modelin altında yatan yapısal kabulleri hızlı bir şekilde aktarma imkanı sağlar (Goodman, 1974; Şenaras, 2016).

Geri bildirimlerin önemli olmasının nedeni, sistem davranışında görülen yapıların temel nedenlerinin bu geri bildirim yapılarına dayanmasıdır. Bir geri bildirim döngüsünde, kapalı bir şekilde neden ve etkiler sıralanır. Kendi üzerine geri dönmeyen neden ve etkilerin doğrusal zinciri açık döngü olarak adlandırılır (Kirkwood, 1998; Şenaras, 2016). Şekil 4.3’de kapalı ve açık döngü yapıları örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Kapalı ve açık döngü yapıları (Morecroft ve Sterman, 1994).

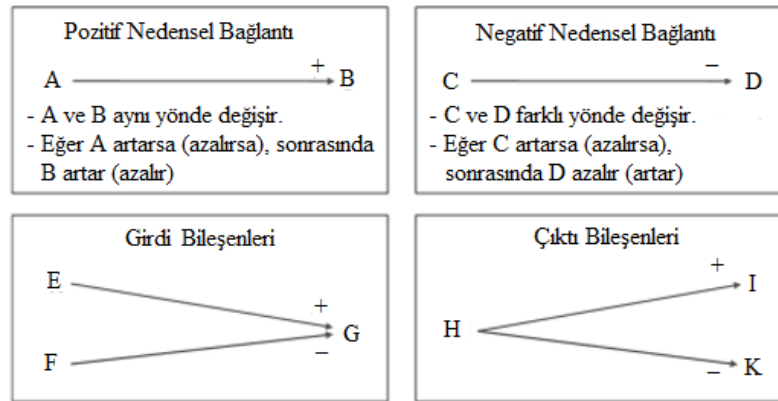
Kapalı döngü yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için bir bardağı su ile doldurma süreci Şekil 4.4'te örnek olarak paylaşılmıştır.



Şekil 4.4 : Bardağı su doldurma tasviri (Senge, 1994; Şenaras, 2016).

Nedensel döngü diyagramları; elemanlar, oklar ve okların üzerinde ilişkinin yönünü ifade eden (-/+) simgeleri yardımıyla görselleştirilmektedir. Nedensel bağlantıları belirten semboller Şekil 4.5'te gösterilmiştir:

- A'daki bir değişim ve B'de aynı yönde bir değişime neden oluyorsa A elemanından B elemanına olan nedensel bağlantı pozitifdir.
- Eğer A'daki bir değişim ve B'de ters yönde bir değişime neden oluyorsa bir A elemanından B elemanına olan nedensel bağlantı negatiftir (-).
- Okun başlangıcı girdi bileşeni ifade ederken, okun ucu çıktı bileşeni ifade eder.



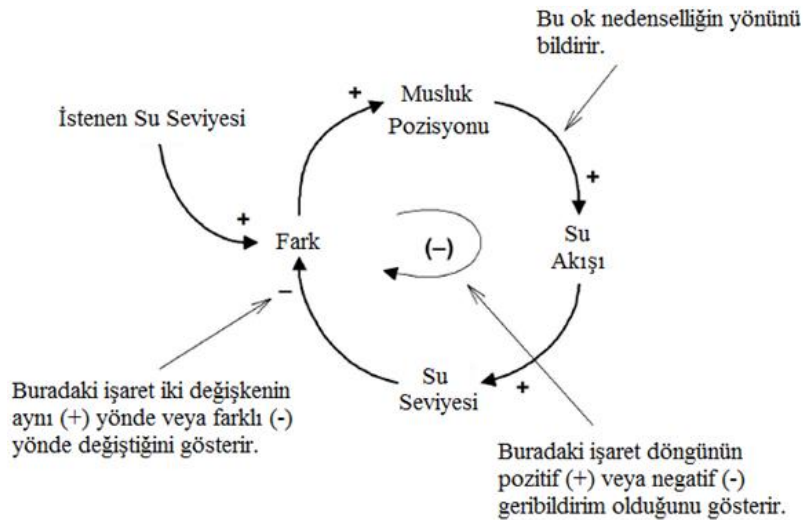
Şekil 4.5 : Nedensel bağlantılar (Weber, 2010; Şenaras, 2016).

Su doldurma sürecinin nedensel döngü diyagramı Şekil 4.6'da sunulmuştur. İlgili döngüyü incelenirse, musluk açıldıkça akışı artacaktır. Bu sebeple musluk pozisyonu ile su akışı pozitif yönlüdür. Su akışının artması su seviyesinin yükselmesine sebep olacağı için ikisi arasındaki bağlantı pozitif yönlüdür. Farkı istenen su seviyesi ile su seviyesi arasındaki fark olarak tanımlar isek su seviyesinin artması farkın azalmasını sağlayacaktır. Bu sebeple ilişki yönü ters olduğu için negatif yönlüdür. Fark ne kadar fazlaysa musluğu o kadar fazla açarız, ne kadar az ise o kadar kısarız. Bu sebeple fark ile musluk pozisyonu pozitif yönlüdür. Şekilde de görüldüğü gibi döngü kapalı bir yapıdadır. Ayrıca istenen su seviyesi ile fark arasında pozitif yönlü bir ilişki mevcuttur.

Bileşenler arası ilişki kümesi aynı zamanda döngünün yönünü ve işaretini belirlemektedir. Şekil 4.6'nın ortasında yer alan işaret, döngünün negatif yönlü olduğunu göstermektedir. Döngünün yönü aşağıdaki gibi saptanmaktadır:

- Eğer negatif nedensel bağlantı(ların) sayısı çift sayı ise, geri bildirim döngüsü pozitif olarak adlandırılır ve (+) işareti ile gösterilir.
- Eğer negatif nedensel bağlantı(ların) sayısı tek sayı ise, geri bildirim döngüsü negatif olarak adlandırılır ve (-) işareti ile gösterilir (Kirkwood, 1998)

Barlas (2012) bir döngünün işaretinin, tüm işaretlerin çarpımı hesaplanarak da hesaplanabileceğini belirtmiştir.



Şekil 4.6 : Nedensel döngü diyagramı (Kirkwood, 1998; Şenaras, 2016).

Pozitif/Pekiştirici ve Negatif/Dengeleyici olmak üzere iki döngü tipi mevcuttur. Pekiştirici döngü “+” işareti ile temsil edilirken, dengeleyici döngü “-” ile temsil edilir.

4.4.1 Pekiştirici (pozitif) geri bildirim döngüleri

Bir değişkendeki değişim, diğer bir değişkendeki değişim ile aynı yönlü ise pekiştirici geri bildirim döngüsü olarak adlandırılır. Yani, bir değişkendeki artış diğer değişkende artışa sebep oluyor ise veya bir değişkendeki azalma diğer değişkende azalmaya sebep oluyor ise döngü yapısı pozitifdir. Bir pekiştirici (pozitif) geri bildirim döngüsü değişimleri güçlendirerek, pekiştirerek daha büyük değişimleri yaratır.

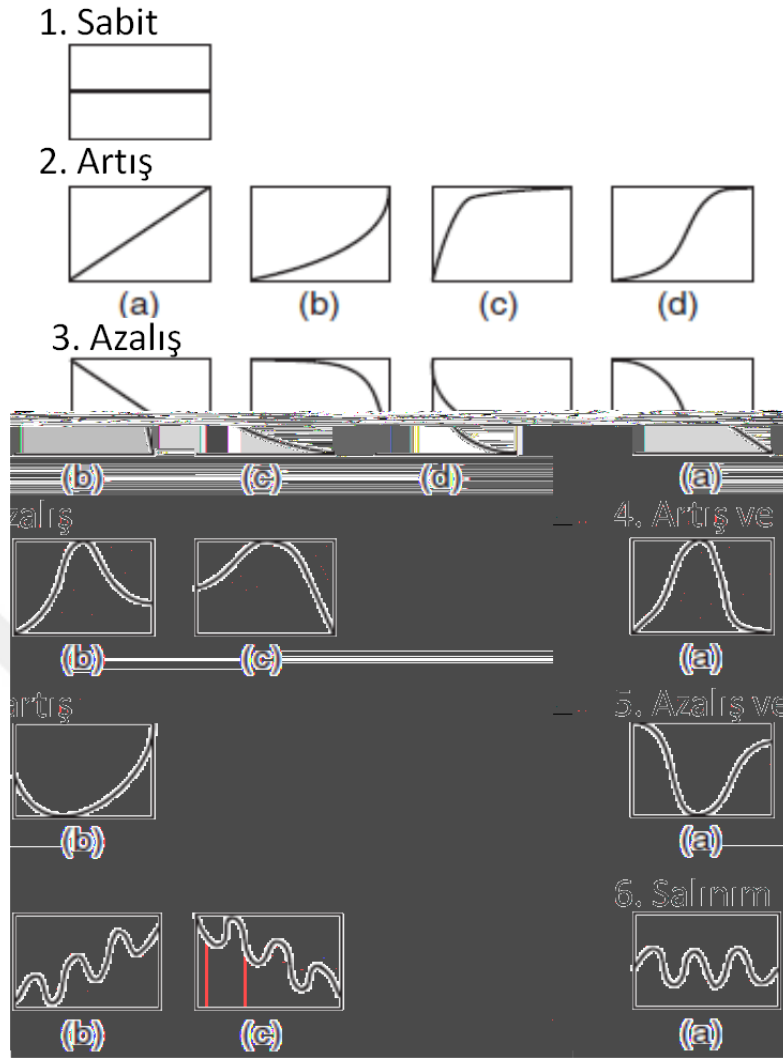
4.4.2 Dengeleyici (negatif) geri bildirim döngüleri

Bir bileşendeki değişim, başka bir bileşeni ters yönde etki edecek şekilde cevap veriyorsa bu geri bildirim döngüleri negatif (dengeleyici) olarak adlandırılır. Kendini düzelten sistem olarak da isimlendirilir (Morecroft, 2012). Dengeleyici geri bildirim döngülerinde sistem içerisindeki bir değişken diğerini artırsa bile diğer değişken söz konusu değişkenin azalması yönünde bir davranış sergileyerek dengeler (Stermann, 2000).

4.5 Dinamik Sistemlerin Yapı ve Davranışları

Bir sistemin davranışı, onu yapısından kaynaklı olup; geri besleme döngüleri, birikimler ve akışlar, sistemin fiziksel ve kurumsal yapılarının etkileşiminin yarattığı doğrusal olmayan davranışlar ilgili yapıyı oluşturur (Stermann, 2000).

Sistem içerisinde yer alan dengeleyici ve/veya pekiştirici geri bildirim döngülerinin kombinasyonları Şekil 4.7’de gösterildiği üzere birçok davranış şeklini oluşturur. Temel olarak pozitif geri bildirim büyüme/artış, negatif geri bildirim küçülme/azalış/hedef arama, döngü içerisinde gecikme içeren negatif geri bildirim ise salınım davranışına sebep olur.



Şekil 4.7 : Dinamik davranış biçimi örnekleri (Barlas, 2012).

Sistemlerin bu dengeleyici ve pekiştirici geri bildirim döngülerini aynı anda barındırmaları, sistemin davranışını açıklamayı zorlaştırmaktadır. Bu sebeple kavramsal model sonrasında stok akış diyagramlarından yararlanılarak simülasyon çalışmaları ile senaryo analizleri gerçekleştirilmektedir.

5. VAKA ÇALIŞMASI: SD İLE KONTEYNER SERVİS KAPASİTE PLANLAMA MODELLEMESİ

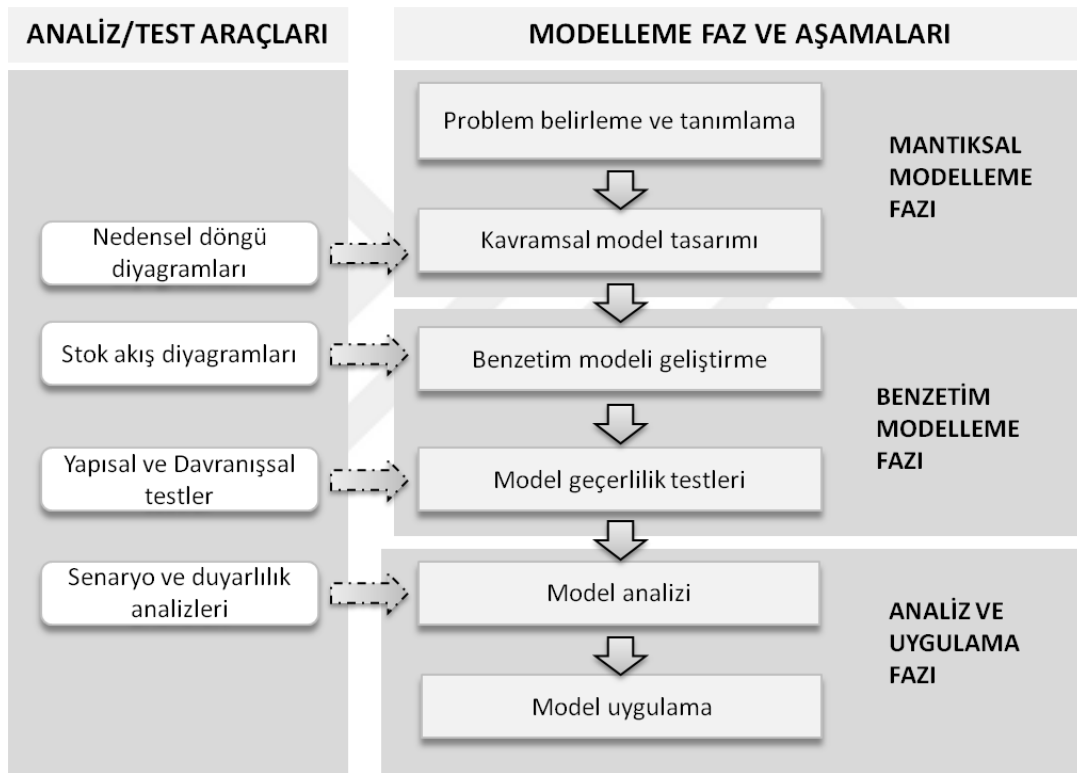
Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman olarak konteynerler, işletmelere birçok avantaj sağlamakla birlikte; işletmeler, bu ekipmanların yönetimleri ile ilgili stratejik seviyeden operasyonel seviyeye kadar birçok karar süreci ile karşı karşıya kalmaktadır. Yayın taramasında da görüldüğü üzere konteyner kapasite ve taşıma planlama süreci ile ilgili problemlere aynı anda odaklanan matematiksel modelleme çalışmaları olmakla birlikte; bütünsel bir bakış açısı ile bu problemlerin sipariş yönetimi, finansal süreçler gibi diğer konteyner süreçlerini de içerecek şekilde bir çalışma rastlanmamıştır. Konteyner yönetiminde kapasite ve taşıma planlama problemlerine odaklanan çalışmalar, yalnızca bu süreçleri modelleyerek analiz çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu bakış açısı operasyonel seviyedeki kararlar açısından iyi sonuçlar verse de; doğrusal olmayan ilişkilerin göz ardı edilmesi sebebiyle taktiksel seviyedeki kararlar açısından bütünsel manada sistem davranışının anlaşılmasını zorlaştırmaktadır.

Toukan ve Chan (2018) çalışmasında ifade ettiği gibi tedarik zinciri boyunca konteyner hareketi, farklı paydaşları ve süreçleri içeren alt sistemler arasındaki etkileşime ihtiyaç duymaktadır. Bir konteyner; yolculuğu içerisinde konteyner terminali, gümrük, denetim yetkilileri, gemi acenteleri, nakliyeciler gibi grup ve paydaşlar arasında etkileşime yol açmaktadır. Bu etkileşimler konteyner tedarik zinciri karmaşıklığını artıran unsurları barındırmaktadır. Sistem içerisinde yer alan karar vericiler, yatırımcılar ve tüm paydaşlar için bu karmaşıklığın algılanması, artan rekabet ortamında daha önemli hale gelmektedir (Toukan ve Chan, 2018). Sistem içerisinde yer alan alt sistem ya da fonksiyonları ayrı ayrı düşünmek yerel optimuma ya da daha kötü bir sonuca ulaşılmasına sebep olabilmektedir (Ng & Lam, 2010). Bu sebeple, bütünsel bir bakış açısı ile karar süreçlerini yönetmek, bütünsel fayda ve etki açısından önemlidir.

Bu çalışmada da, göbek ve ispit ağ yapısına sahip konteyner taşıma zincirinde kapasite ve taşıma politikalarının firma performansı üzerindeki etkisinin bütünsel bir

bakış açısı ile araştırılması amacıyla sistem dinamiği modelleme metodolojisi önerisinde bulunulmuştur. Konteyner servis kapasite planlama sürecinin birbiri ile etkileşimli geri bildirim döngüleri içermesi, karmaşık yapısı, doğrusal olmayan ilişki ve dinamik yapısı sebebiyle; modelleme yaklaşımında, sistem dinamiği tercih edilmiştir. Bu modelleme yaklaşımının seçilme sebepleri çalışma metodolojisi bölümünde daha detaylı olarak paylaşılmıştır.

Üç ana faz ve altı aşamadan oluşan bir metodoloji ile modelleme ve analiz çalışmaları yürütülmüştür. Bu modelleme fazları; mantıksal modelleme, benzetim modelleme, analiz ve uygulama fazlarıdır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Önerilen sistem dinamiği modelleme aşamaları.

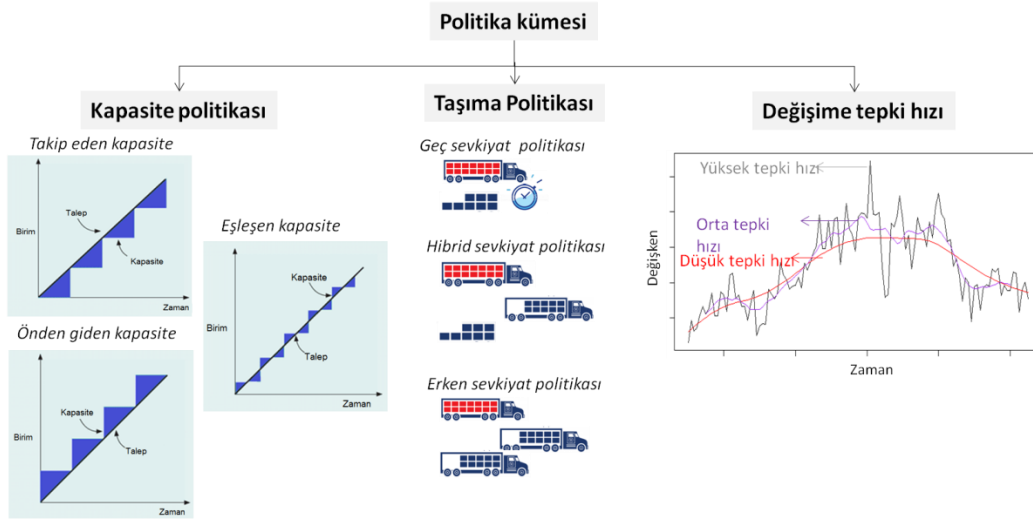
Mantıksal modelleme fazında belirlenen problemin tanımı detaylandırılmış ve çalışmanın amacı tariflenmiştir. Ayrıca çalışmanın amacı doğrultusunda çalışmanın kapsamı, sürece etki eden faktörler ve varsayımların tanımlaması yapılmıştır. İlgili fazın ikinci aşamasında ise nedensel döngü diyagramlarından yararlanılarak ana sürecin etkileşime girdiği yan süreçleri de kapsayacak şekilde konteyner servis kapasite planlama politikalarının analizi için kavramsal model oluşturulmuştur. Bu ağ yapısının modellenmesi; yayın taraması ve sektör uzmanları ile yapılan mülakatlar yardımıyla yapılmıştır.

Benzetim modelinin geliştirilmesi fazında, kavramsal modelleme fazında tasarlanmış olan nedensel döngü diyagramları ile stok akış diyagramlarından yararlanılarak benzetim modeli geliştirilmiştir. İlgili benzetim modeli, sistem dinamiği modelleme aracı olarak yaygınca kullanılan VENSİM v5 (The Ventana Simulation Environment) isimli simülasyon aracı üzerinden geliştirilmiş ve koşturulmuştur.

Benzetim ortamının hazırlandığı bu aşama, ilk fazdaki göbek ve ispit konteyner dağıtım ağını içeren jenerik modelden türetilen vaka çalışmasını oluşturur. Vaka çalışmasında; göbek ve ispit ağ yapısının yaygın bir şekilde kurulduğu ve rekabetçilik açısından konteyner yönetiminin önemli olduğu otomotiv sektöründeki bir otomobil ana sanayi fabrikası ve onun tedarikçisi arasındaki konteyner akışını sağlayan konteyner servis sağlayıcısının kapasite ve taşıma planlama sürecine odaklanılmıştır ve politika kümesi analizleri için süreç modellemesi yapılmıştır. Sürece ait stok akış diyagramları tasarlanırken, veri toplama süreci eş anlı olarak yürütülmüştür. Sonrasında modelin gerçek dünyayı temsil edip etmediğinin ve benzetim modelinin kalitesinin kontrolü için model güvenilirliği, yayın taramasında yer alan çeşitli testlerden yararlanılarak kontrol edilmiştir (Sternan, 2000).

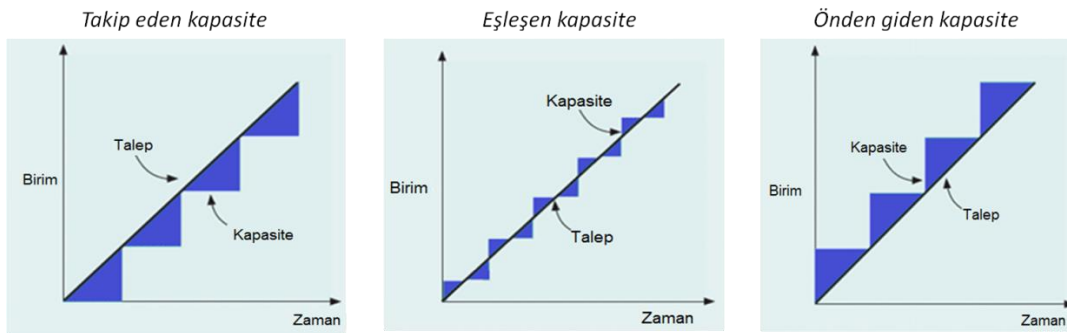
Model analizi ve uygulama fazında ise benzetim modelinin oluşturulması sonrasında çeşitli konteyner kapasite ve taşıma planlama politikaları simülasyon yardımıyla analiz edilip, sistemin davranışı incelenmiştir. Yapılan senaryo analizleri ile firma kazancını en fazla iyileştiren politika kümesi belirlenmiş ve sonrasında da duyarlılık analizleri ile hangi koşullar değiştiğinde kazanç açısından politika değişikliğinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

İşletmeler, pazar payını genişletme ve kapasite kullanımı en üst düzeye çıkarma arasındaki dengeyi sağlamayı amaçlamaktadır (Vlachos et al, 2007). İşletmeler, stratejileri doğrultusunda kazançlarını artırmak için talep ile kapasite dengesizliklerini seviyelendirmeye çalışırlar. Bu amaç doğrultusunda, kaynak kullanım oranı ve/veya servis seviyesi odaklı kapasite ve taşıma planlama politikaları uygulamaktadır. Model analizi ve uygulama fazında, kapasite ve taşıma politikalarının kombinasyonlarından oluşan politika kümelerinden, işletmeye en fazla değer yaratacak uygun politika kümesinin seçimi için benzetim modelleri üzerinden analizler yapılmıştır. Parametrelerin ve politika tercihlerinin farklılaştırılarak oluşturulduğu politika kombinasyonları Şekil 5.1’te tasvir edilen politikalar yardımıyla oluşturulmuştur.



Şekil 5.2 : Politika kümesi.

Talebe göre kapasite planlama politikaları olan “önden giden kapasite/kapasite liderliği (*capacity leading*)”, “geriden takip eden kapasite/kapasite takibi (*trailing capacity*)” ve “kapasite eşleştirme (*capacity matching*)” politikaları senaryo analizleri kapsamında kıyaslanmıştır. İşletmelerin, bu alandaki strateji ve politikalarına bakıldığında; talebe göre fazla kapasitenin kullanıldığı *önden giden kapasite/kapasite liderliği politikası* ile işletmeler ani talep artışlarına cevap vermeyi hedeflerken, atıl kapasite sebebiyle verimsizlikle karşı karşıya kalırlar. Buna karşılık; talebe göre düşük kapasitenin kullanıldığı *talebi takip eden kapasite politikası* ile de kaynak kullanım oranını yüzde yüze olmasını hedefleyerek, kaynak verimliliği sağlarlar. Ancak yüksek kapasite oranı verimsizliğe yol açarken, düşük kapasite ise müşteri satış kaybına sebep olabilmektedir. *Kapasite eşleştirme politikası* ile de zaman içerisinde kapasite ve talebi eşleştirmeye çalışabilmektedirler. Bu politika da belirli oranda verimlilik ve pazar payı kaybını göze almayı gerektirir. İlgili kapasite artırma politikaları Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Talebe göre kapasite artırma politikaları.

İlgili kapasite politikaları uygulanırken taşıma politikaları da maliyetleri ve servis seviyesi üzerinde önemli rol oynamaktadır. Taşıma politikası açısından verimli ya da hızlı cevap verme stratejileri; hedef kapasite doğrultusunda filo büyüklüğünü ve dolayısıyla yatırım, elde bulundurma vb. maliyetleri etkilemektedir. Ayrıca hizmet seviyesini ve pazar payını etkilemesi açısından taşıma politikasının seçimi rekabetçilik açısından önemlidir. Bu sebeple; *erken sevkiyat*, *geç sevkiyat* ve aşağıda tariflenecek *hibrid sevkiyat* politikalarının da konteyner servis kapasite süreci üzerindeki etkisi bütünsel bakış açısı ile araştırılmıştır.

Bunun yanında işletmeler arasında değişime karşı duyarlılığı, tepki hızı, bilgi gecikmesi ya da karar almada gözden geçirme süresi açısından farklılıklar olabilmektedir. Değişime duyarlılığı yüksek şirketler, duyarlılığı az olanlara göre tepki hızları yüksek olup; daha dar bir zaman diliminde değişimleri izleyerek aksiyon alırlar. Diğer taraftan değişime duyarlılığı az olanlar ise daha uzun bir gözden geçirme periyodunu dikkate alarak aksiyon alırlar. Bu sebeple, ilgili kapasite ve taşıma politikalarının farklı tepki hızlarındaki davranışları da senaryo analizlerine dahil edilmiş ve politika kümeleri kıyaslanmıştır.

Politika analizi kısmında; özetle farklı kapasite ve taşıma planlama politikaları ile farklı değişime tepki hızlarını içeren politika kümeleri oluşturularak finansal açıdan en avantajlı politika kombinasyonu bulunabilmesi için kademeli olarak simülasyon modelleri çalıştırılmış, performansı yüksek politika kümeleri üzerinden yeni simülasyon modelleri türetilmiş ve analiz edilmiştir. Ardından da duyarlılık analizi ile politika tercihinin hangi koşullar altında değiştirilmesi gerektiği saptanmıştır.

Çalışma kapsamında; yaygın kullanımı ve ölçeklenebilir yapısından dolayı göbek ve ispit ağı yapısına sahip bir otomotiv konteyner taşıma zinciri, vaka çalışması olarak ele alınmıştır. Kapasite ve taşıma politikası seçim problemi için bir otomobil ve tedarikçisi arasında konteyner akış süreci, yukarıda önerilen sistem dinamiği metodoloji izlenerek modellenmiş ve süreç adımları aşağıda paylaşılmıştır. Konteyner akışı ile ilgili veriler ise ilgili otomobil firması aracılığı ile toplanmıştır.

5.1 Problemin Tanımlanması

Göbel ve ispit ağı yapısına sahip tedarik zinciri içerisinde tüm yüklerin akışları, merkezi bir depo üzerinden yönlendirilmektedir. Konteynerler; çift yönlü olmak

üzere merkezi konumdan uydulara veya uydulardan merkeze, dolu ya da boş bir şekilde hareket edebilir. Bu ağ yapısında konteynerler, merkezi havuz adı verilen bir ana depoda tutulmaktadır ve ihtiyaç halinde bu merkezi depodan ihtiyaç noktasına gönderilir. İşlemi biten konteyner ise geri toplanır (Kurudewig C, 2015). Bu konteyner taşıma zinciri faaliyetleri, genellikle boş konteyner kiralama ve/veya taşıma hizmeti sunan konteyner servis sağlayıcıları tarafından yerine getirilmekte olup; bu şirketler konteyner filo uygunluğu ve taşıma kapasitelerine göre müşteri taleplerine cevap verirler. Bu şirketler sürdürülebilirlikleri açısından pazar payı ve maliyetlerini dengelemek amacıyla birbiri ile ödünleşme içerisinde olan konteyner bulunurluk seviyesini ve kaynak kullanım oranlarını optimize etmeye çalışırlar. Yüksek talep dalgalanması ve çevresel faktörlerdeki belirsizlikler, uygun politikanın geliştirilmesini karmaşık hale getirmektedir. Yanlış politikalar; yüksek yatırım maliyeti, operasyonel maliyet ve/veya müşteri talebinin karşılanamaması kaynaklı satış kaybına sebep olabilmektedir. Bu motivasyonla; filo büyüme veya küçülme kararlarını tetikleyen kapasite planlama politikaları ile taşıma frekansını etkileyen taşıma planlama politikalarının ortak etkisi araştırılmıştır. İlgili politika analizi yapılırken de değişime karşı tepki hızı da dikkate alınmıştır. Kapasite, taşıma planlama ve tepki hızları açısından hangi politika kombinasyonun hangi koşullarda daha yüksek kazanç sağladığı araştırılmıştır.

Firmanın stratejisi ve talep yapısı göz önüne alındığında, “hızlı cevap verme” ve/veya “verimlilik” stratejisi tercihlerinin etkisinin öngörülebilmesi uzun vadeli kazanç açısından önemli bir etki yaratacaktır. Tüm tedarik zinciri süreçlerini dikkate alarak satış kaybı ile kaynak kullanım verimliliği arasındaki ödünleşmenin hesaplanması, bu etkinin ortaya konması ve politika kararlarının alınması açısından önemlidir. Ayrıca taşıma politikası da, konteyner kapasite planlama sürecinde özellikle konteyner yatırım kararlarını ve müşteri servis seviyesini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden erken ve geç sevkiyat politikaları ile sevkiyat sıklığının farklı kapasite stratejileri ve politikalarına etkisi de analiz sürecine dahil edilmiştir.

Verimlilik ve hızlı cevap verme stratejilerinin tetiklediği kapasite planlama politikaları ile taşıma politikalarının detayları, model analizi bölümünde paylaşılmıştır. Özetle verimlilik stratejisini uygulayan firmalar; talebe göre kapasite oranını tanımlayan parametre olan hedef kapasite oranını düşük olmasını, müşteriye hızlı cevap verme stratejisini uygulayan firmalar ise hedef kapasite oranını yüksek

olmasını hedefler ve bu hedef doğrultusunda filo planlama ile ilgili filo yatırım ya da küçülme kararlarını alır. Taşıma stratejisi açısından verimliği hedefleyen firmalar geç sevkiyat politikası ile *tam kamyon yük taşımacılığını* (FTL), hızlı cevap vermeyi hedefleyen firmalar ise erken sevkiyat politikası ile kamyonun tamamını doldurmayan *kısmi yük taşımacılığını* (LTL) uygular. Ayrıca müşteri ile anlaşma doğrultusunda minimumun sevkiyat sıklığı ile hibrid taşımacılık şeklini uygulayan esnek firmalar da mevcuttur.

Yukarıda açıklandığı üzere; kapasite ve taşıma planlama süreci diğer konteyner yönetimi ve kararları ile etkileşim halindedir ve sistem içerisinde çok sayıda doğrusal olmayan ilişkiler yer almaktadır. Bu sebeple; çeşitli politikaların etkilerini analiz etmek için süreç ilişki detayını makro seviyede tutarak, göbek ve ispit ağ yapısına sahip konteyner taşıma zinciri yönetimi için öncelikle nedensel döngü diyagramından yararlanılarak kavramsal model geliştirilmiştir. Kavramsal modelleme aşaması için nedensel döngü diyagramı kapasite planlama süreci ile ilişkili filo planlama, sipariş yönetimi, taşıma yönetimi, gelir yönetimi ve bakım yönetim süreçleri kapsayacak şekilde oluşturulmuştur.

Bu bölümün girişinde de bahsedildiği gibi ilgili analiz çalışması göbek ve ispit ağı dağıtım yapısına sahip konteyner taşıma zinciri için yapılmış, bir otomobil ve tedarikçisi arasında yurtdışı konteyner akış süreci vaka çalışması olarak ele alınmıştır. Yük sipariş ve sevkiyat yönetim planlaması haftalık yapılması dolayısıyla simülasyon zaman aralığı haftalık olarak belirlenmiştir. Simülasyon koşu zamanının bir otomobil proje ömrü dikkate alınarak 200 haftanın yeterli olacağı öngörülmüştür ve simülasyon modeli bu zaman dilimi içerisinde koşturulmuştur.

5.2 Kavramsal Modelleme

Konteyner servis kapasite planlama sürecinin ve dinamiklerinin anlaşılabilmesi için nedensel döngü diyagramları yardımıyla filo planlama, sipariş yönetimi, taşıma yönetimi, gelir yönetimi ve bakım yönetim süreçlerini de kapsayacak şekilde, detay seviyesi makro düzeyde tutularak kapasite servis planlama sürecinin kavramsal modellemesi yapılmıştır.

Nedensel döngü diyagramları makro seviyede bir biri ile etkileşim içerisindeki 5 ana süreç altında incelemiştir: *Konteyner sipariş ve sevkiyat süreci, konteyner servis*

kapasitesi planlama süreci, konteyner hasarlanma ve iskarta süreci, depo alanı planlama süreci ve finansal yönetim süreci. Bu ana süreç içerisinde birçok pekiştirici (6 adet) ve dengeleyici döngü (16 adet) yapısına sahip alt süreçler mevcut olup, ilgili ana süreçler ve alt süreçler sıra ile aşağıda sunulmuştur. İlgili süreçler oluşturulduktan sonra ilgili kavramsal modelin sektör uzmanları ile mantıksal doğrulaması yapılmıştır.

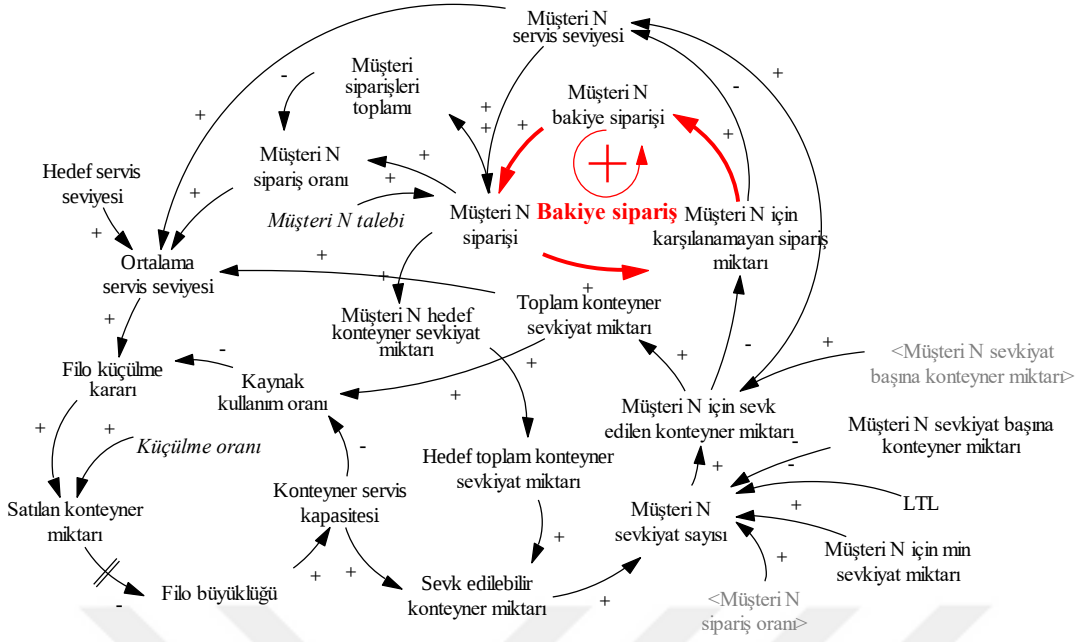
5.2.1 Konteyner sipariş ve sevkiyat süreci

Ana sanayi firmasının talebi doğrultusunda tedarikçiler; ana sanayiye hammadde, yarı mamül ya da ürün gönderimi gerçekleştirir. Bu yük gönderimlerini de konteynerler içerisinde gerçekleştirmekte olup, yük taşıma ihtiyaçları doğrultusunda konteyner servis sağlayıcılara konteyner siparişinde bulunmaktadır.

Konteyner servis sağlayıcıları ise filo ve taşıma kapasite kısıtları doğrultusunda müşterileri bazında kota planlamasına göre birim zamanda sevk edilecek konteyner miktarını ve sevkiyat sayısını belirleyerek, konteyner sevkiyat işlemini gerçekleştirir. Sevkiyat sayısını ve sevkiyat başına maksimum konteyner miktarı, ilgili zaman aralığındaki sevkiyat miktarı için bir kısıttır. Gelen siparişin büyüklüğü ile birlikte taşıma politikası da sevkiyat sayısını ve müşteriye sevk edilecek konteyner miktarını belirleyen önemli bir karardır.

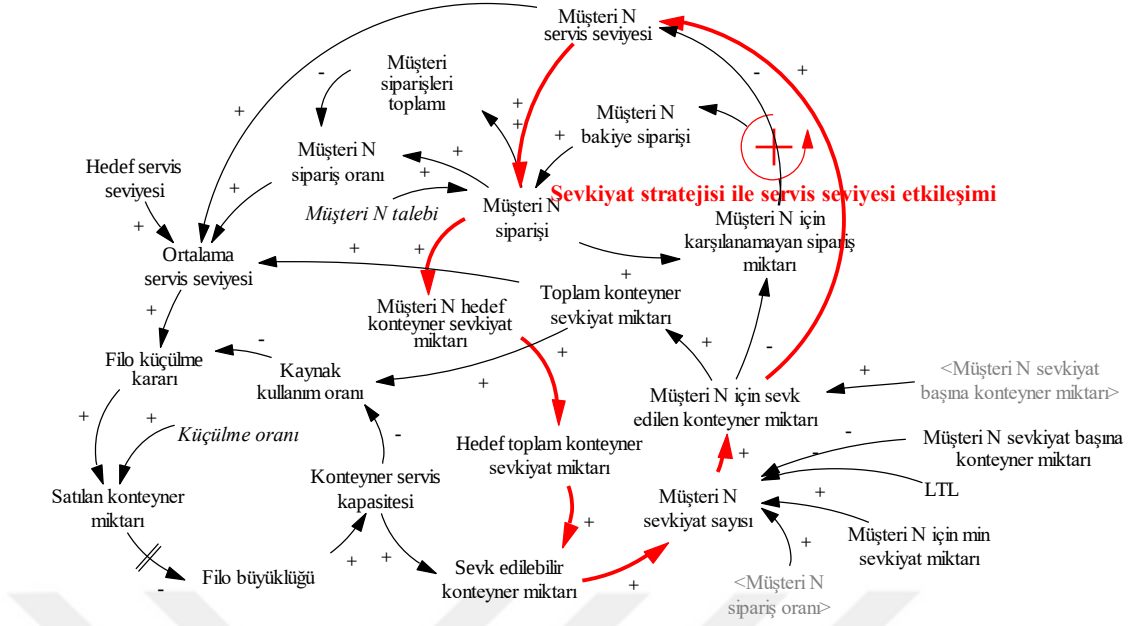
Bu konteyner servis sağlayıcılar, stratejileri doğrultusunda sevkiyat planlama süreçlerinde erken sevkiyat ya da geç sevkiyat taşıma politikasını tercih edebilmektedir. Bu tercih, sevk edilen konteyner miktarını ve zamanını değiştirmektedir. Geç sevkiyat politikası; taşıyıcı firmaların, farklı müşteriler ile yük birleştirme yapamadığı bölgelerde yükleri, tam kamyon yük doluluğunu sağlayana kadar bekleterek taşıma verimliliği sağladığı politikadır. Tam kamyon yük taşımacılığı (FTL) ile müşteri servis seviyesinin düşmesi göze alınarak taşıma maliyetleri azaltılması hedeflenir. Buna karşılık erken sevkiyat politikası ise tam kamyon yük doluluğu sağlanması beklenmeden hizmet seviyesinin yüksek olmasını hedefleyen politikadır (Glock & Kim, 2014). Kısmi/eksik kamyon yük taşımacılığında müşteriye hızlı cevap verme amacı ile taşımacılıktaki verimsizlik göze alınmış olunur.

Aşağıda konteyner sipariş ve sevkiyat sürecine ait dengeleyici ve pekiştirici döngüler ve açıklamaları sunulmuştur.



Şekil 5.5 : Bakiye sipariş döngüsü.

Kapasite kısıtları altında, müşteri siparişine bağlı olarak sevk edilecek konteyner miktarı ile sevkiyat sayısı belirleme faaliyetleri yürütülmektedir. Müşteri N'e ait sipariş miktarının artması ile, ilgili zaman aralığı için kota dağılımı doğrultusunda hedef sevk miktarı belirlenmektedir. Sipariş miktarının artması ile, hedef konteyner sevk miktarı ve sevkiyat sayısı yükselecek, müşteri N için sevk edilen konteyner miktarı artacaktır. Müşteri N'nin sipariş karşılama oranının yükselmesi ile birlikte de Müşteri N'e sevk edilen konteyner miktarının siparişine oranı olarak ifade edilen Müşteri N servis seviyesi de artacaktır, bu durum müşteri talebinin daha fazla bir oranda siparişe dönüşmesini sağlayacaktır. Özellikle sevkiyat stratejisinin seçimi, müşteri servis seviyesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bahsedilen bu etkileşim, pekiştirici geri bildirim döngü olan “*Sevkiyat stratejisi ile servis seviyesi etkileşim*” döngüsünü oluşturur (Şekil 5.6). Erken sevkiyat politikası, sevkiyat sayısını artıracığı için müşteri servis seviyesini artıracak daha fazla müşteri siparişinin karşılanmasına sağlayacak ve böylece sipariş miktarları yükselecektir. Geç sevkiyat politikasında ise müşteri sipariş karşılama oranının düşmesine istinaden servis seviyesi azalacak ve bu durum da satış kaybına sebep olacaktır.



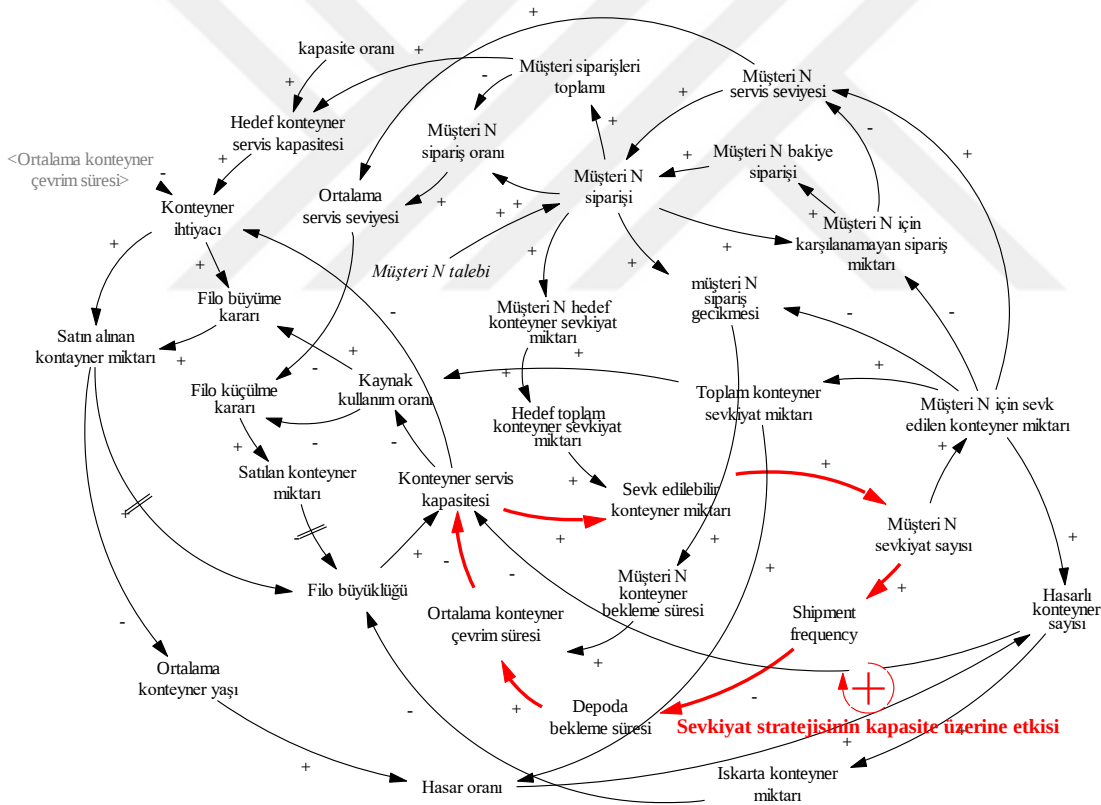
Şekil 5.6 : Sevkiyat stratejisi ile servis seviyesi etkileşim döngüsü.

5.2.2 Konteyner servis kapasite planlama süreci

Müşterilere siparişleri doğrultusunda konteyner temin ve/veya konteyner taşıma hizmeti verebilmek amacıyla konteyner servis sağlayıcıları, filo ve taşıma planlama ile ilgili strateji ve faaliyetlerini kapsayan konteyner servis kapasitesi planlama sürecini yönetmektedirler. Özellikle taşıma politikalarının sonucu olarak ortaya çıkan konteyner çevrim süresi ile filo büyüklüğü, konteyner servis kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu sürecinin dinamiklerini açıklamaya yardımcı dengeleyici ve pekiştirici döngüler bu alt bölümde paylaşılmıştır.

Konteyner çevrimi incelendiğinde; yük taşınma ihtiyacı ve siparişe istinaden, bir konteyner boş konteyner deposundan öncelikle tedarikçiye gönderilir ve burada tedarikçi tarafından ilgili hammadde, yarı mamul ya da ürünlerden oluşan yükler müşteriye gönderilmek üzere konteyner içerisine yüklenir ve depolanır. Sonrasında sevkiyat planlaması doğrultusunda müşteriye gönderilir. Müşteri tarafında yüklü konteynerler belirli bir plan dahilinde boşaltılır ve boş konteyner geri sevk edilmek üzere depolanır. Ardından ilgili konteynerler, konteyner servis sağlayıcı tarafından geri toplanmaktadır. Geri toplama sürecinde eğer taşıma yapılacak yük var ise dolu konteyner, yok ise boş konteyner geri toplama işlemi gerçekleştirilir. Geri toplanan konteynerler için öncelikli olarak temizleme ve bakım faaliyetleri yürütülmekte ve sonrasında yeni siparişe kadar depoda istiflenmektedir. Bir konteynerin siparişine istinaden konteynerin depodan çıkıp, dolaşımını tamamladıktan sonra tekrar depoya

dönmesi ve bir sonraki çevrime kadar depoda istiflenmesinde geçen süre, *konteyner çevrim süresini* oluşturmaktadır. Bu çevrim süresinin kısaltılması, birim zamanda daha fazla konteynerin servis edilmesini ve dolayısıyla konteyner servis kapasitesinin artmasını sağlayacaktır. Sevkiyat stratejisine bağlı olarak sevkiyat frekansının artması, daha sık sevkiyata sebep olacağı için bir konteynerin boş konteyner deposunda, tedarikçi deposunda ve/veya müşteri deposunda bekleme süresini kısaltır. Böylece belirli bir periyotta taşınabilecek yük ve sevkiyat miktarı da artmış olur. Bu da belirli bir zaman aralığı için konteyner sevk kapasitesinin arttığı anlamı taşır. Konteyner servis kapasitesinin artması, özellikle erken sevkiyat politikasını uygulayan firmalar da çevrim sürecini hızlandırarak ortalama konteyner dolaşım süresinin azalmasını sağlayacaktır. Pekiştirici döngü yapısına sahip “Sevkiyat stratejisinin kapasite üzerine etkisi” döngüsü Şekil 5.7’de sunulmuştur.

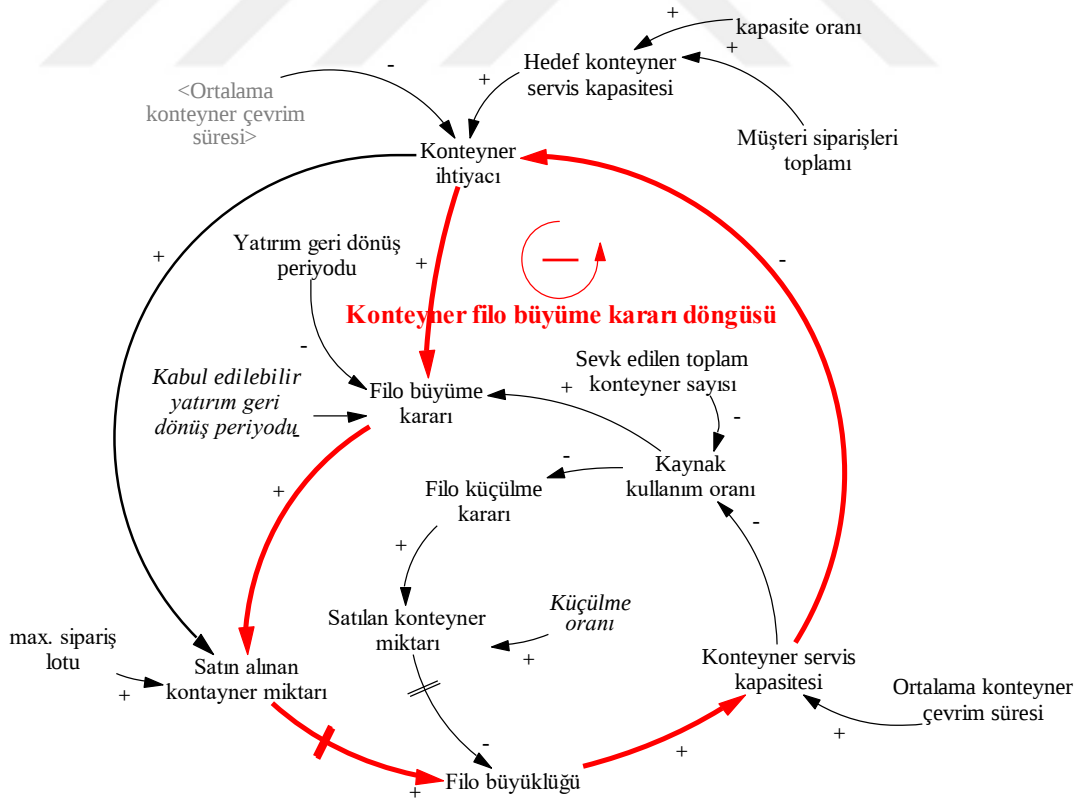


Şekil 5.7 : Sevkiyat stratejisinin kapasite üzerine etkisi.

Konteyner servis kapasitesinin diğer bir belirleyicisi, konteyner filo büyüklüğüdür. Filo büyüklüğünün artması, sevkiyat için elverişli konteyner miktarının ve dolayısıyla konteyner servis kapasitesinin artmasını sağlar. Hedef kapasite oranı ve çevrim süresi, filo büyüklüğü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Filo planlama

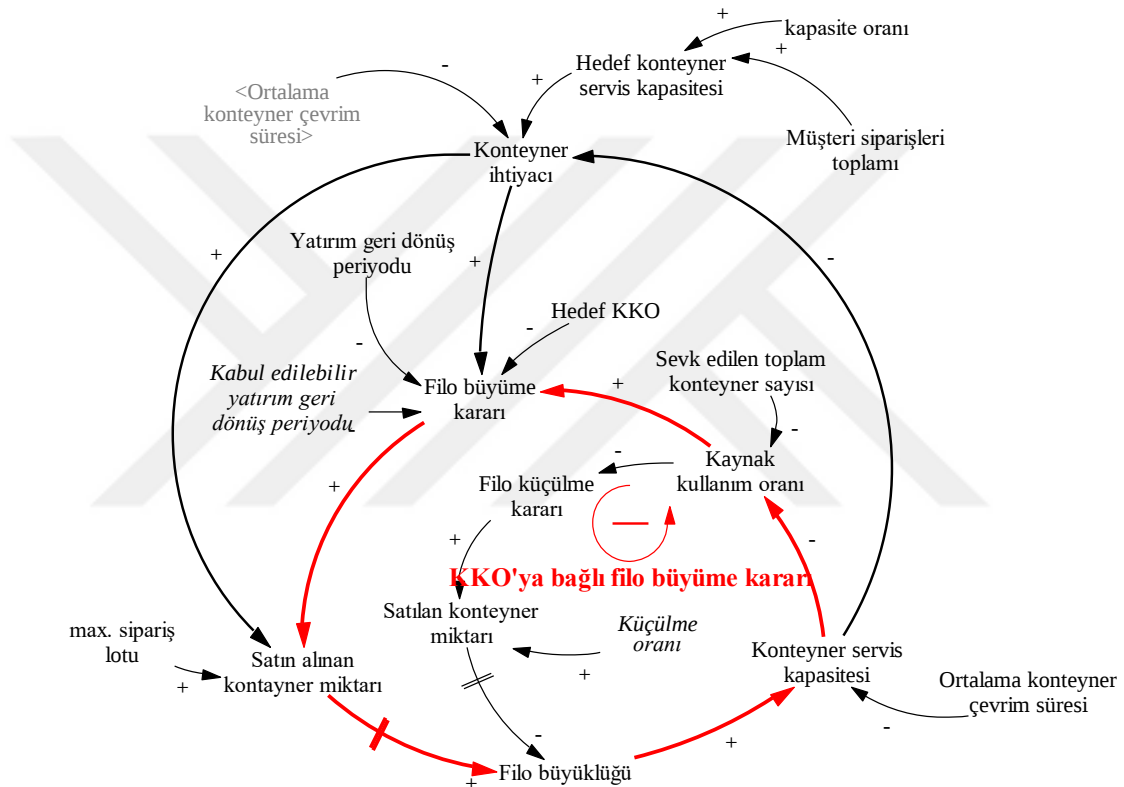
faaliyetleri bünyesinde yer alan filo yatırım ya da küçülme kararları, hedef filo büyüklüğünün ayarlanmasını sağlar. Filo büyüklüğüne bağlı olarak kapasiteye etki eden ilgili süreçler ve bu süreçlere ait nedensel döngü diyagramları sırası ile paylaşılmıştır.

Konteyner servis sağlayıcısı, müşteri siparişleri öngörüsü ve kapasite stratejileri doğrultusunda hedef konteyner servis kapasitesini belirler. Hedef konteyner servis kapasitesi ya da başka ifade ile hedef kapasite oranı, siparişin belirli bir oranı ya da katı olarak belirlenmektedir. İşletmeler, bu hedef kapasite oranına göre filo yatırımı ya da küçülme kararlarını almaktadır. Siparişe bağlı hedef konteyner servis kapasite miktarının artması ile birlikte, ortalama çevrim süresi ile orantılı olarak konteyner ihtiyacı artacaktır. Bu konteyner ihtiyacının azaltılması için temin süresi ve maksimum sipariş miktarı kısıtlarına göre filoya yeni konteynerler katılacaktır. Konteyner filo büyüklüğündeki artış birim zaman aralığında konteyner servis kapasitesinin artmasını sağlayacaktır. Böylece konteyner ihtiyaç miktarı azaltmış olacağı için “konteyner filo büyüme döngüsü” dengeleyici bir döngü yapısına sahiptir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 : Konteyner filo büyüme kararı döngüsü.

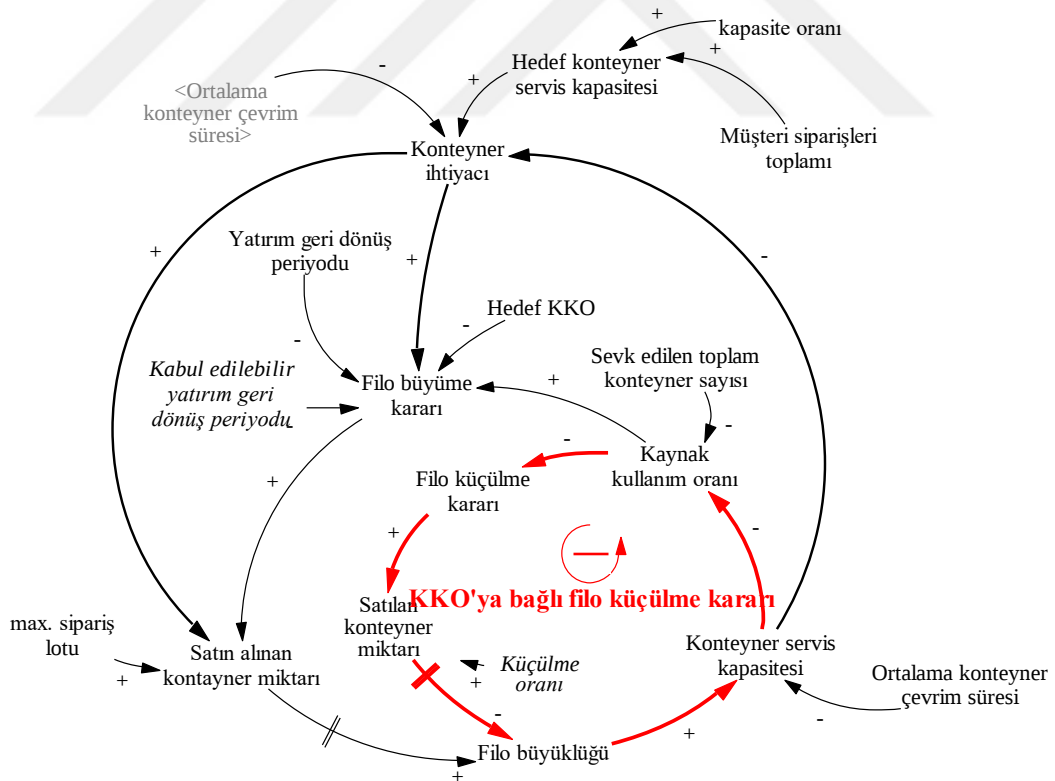
Kaynak kullanım oranının filo büyüme kararlarına etkisi incelendiğinde; konteyner servis kapasitesindeki artış kaynak kullanım oranının azalmasına neden olacak, bu da konteyner yatırım eğilimini azaltacaktır. Benzer şekilde, kaynak kullanım oranındaki artış ise filo büyüme eğilimini pozitif yönde etkileyecektir. Bu yapı dikkate alındığında “Kaynak kullanım oranına bağlı filo büyüme kararları” dengeleyici bir döngüye sahiptir (Şekil 5.10).



Müşteri sipariş miktarının artması, filo büyüme kararlarını da olumlu olarak etkiler. Müşteri siparişlerinin artması, hedef kapasite oranını artırarak konteyner ihtiyacının artmasına neden olacaktır. Konteyner ihtiyacının artması da yatırım miktarını hızlandıracaktır. Yatırım hızının artması ile birlikte konteyner servis kapasitesi artmış olacak ve böylece daha fazla miktarda müşteri siparişi karşılanacaktır. Bu yüzden “*Sipariş büyüklüğünün filo büyümesine etkisi*” güçlendirici bir döngü yapısına sahiptir (Şekil 5.11).

Konteyner kapasite planlama sürecinde; işletmelerin müşteri siparişlerine cevap vermek için gerçekleştirdikleri filo yatırımları, servis seviyesini artırmaktadır. Ancak bu işletmeler atıl kapasite sebebiyle verimsizlikler ile karşı karşıya kalabilmektedir. Çünkü atıl kapasite firmalar için verimsizlik oluşturarak elde bulundurma maliyetlerinin yükselmesine yol açacaktır. Bu sebepten, atıl kapasitenin azaltılması da firmalar için bir problem alandır ve firmalar servis seviyesi ile kaynak kullanım oranını dengelemek için büyüme stratejisi uyguladıkları gibi, küçülme stratejisi de uygulamaktadırlar. Aşağıda küçülme kararlarını etkileyen döngü yapıları paylaşılmıştır.

“Kaynak kullanım oranına bağlı filo küçülme kararları” büyüme kararlarına benzer şekilde dengeleyici bir döngü yapısına sahiptir (Şekil 5.13). Çünkü konteyner servis kapasitesi arttıkça kaynak kullanım oranı azalacaktır. Chew ve diğ. (2012) çalışmalarında sunduğu üzere işletmeler verimsizliği engellemek için filo büyüklüğünün azaltılması yoluna gidilerek kaynak kullanım oranını dengelemektedir.



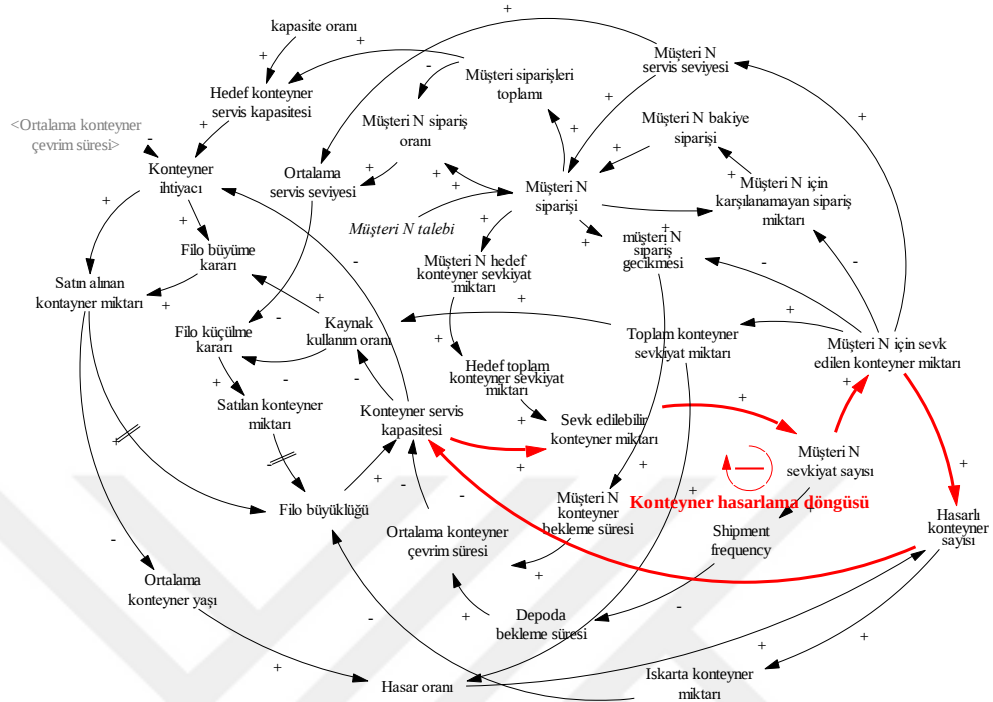
Şekil 5.13 : KKO'ya bağlı filo küçülme karar döngüsü.

Kamath ve Ro (2017) çalışmalarında kapasite ile sipariş gecikmesi arasındaki ilişkiyi açıklamışlardır. Bu yaklaşımdan yararlanılarak, kapasite planlama politikaları ile

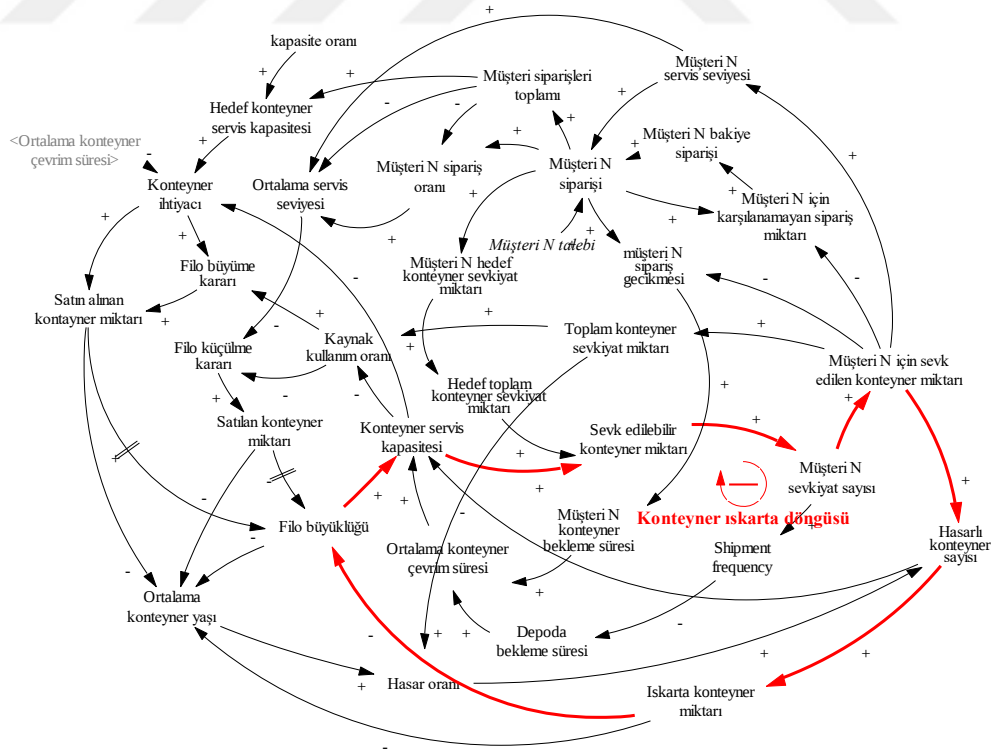
5.2.3 Konteyner hasar ve ıskarta süreci

Çoğu ekipmanda olduğu gibi konteynerler de bir yaşam ömrüne sahiptir. Konteyner yaşam döngüsü içerisinde malzemenin niteliğine göre zaman ve elleçlemeye bağlı olarak yorgunluk oluşmaktadır. İlgili varlıkların yapıldığı malzemenin ömrünün yanında, tedarikçi ile müşteri arasındaki döngüde çok sefer elleçlemeye maruz kaldıkları için de hasarlanma ve ıskarta durumları ortaya çıkmaktadır. Konteyner sevkiyat miktarı arttıkça daha fazla konteyner hasarlanacaktır. Bu hasarlanma sonucunda ıskarta oranı artacaktır. Bu durum filo büyüklüğünün ve buna bağlı sevk kapasitesinin azalmasına sebep olacaktır. Bu yüzden “*Konteyner hasar döngüleri*”

(Şekil 5.15) ve “Konteyner ıskarta döngüsü” (Şekil 5.16) dengeleyici döngü yapısına sahiptir.

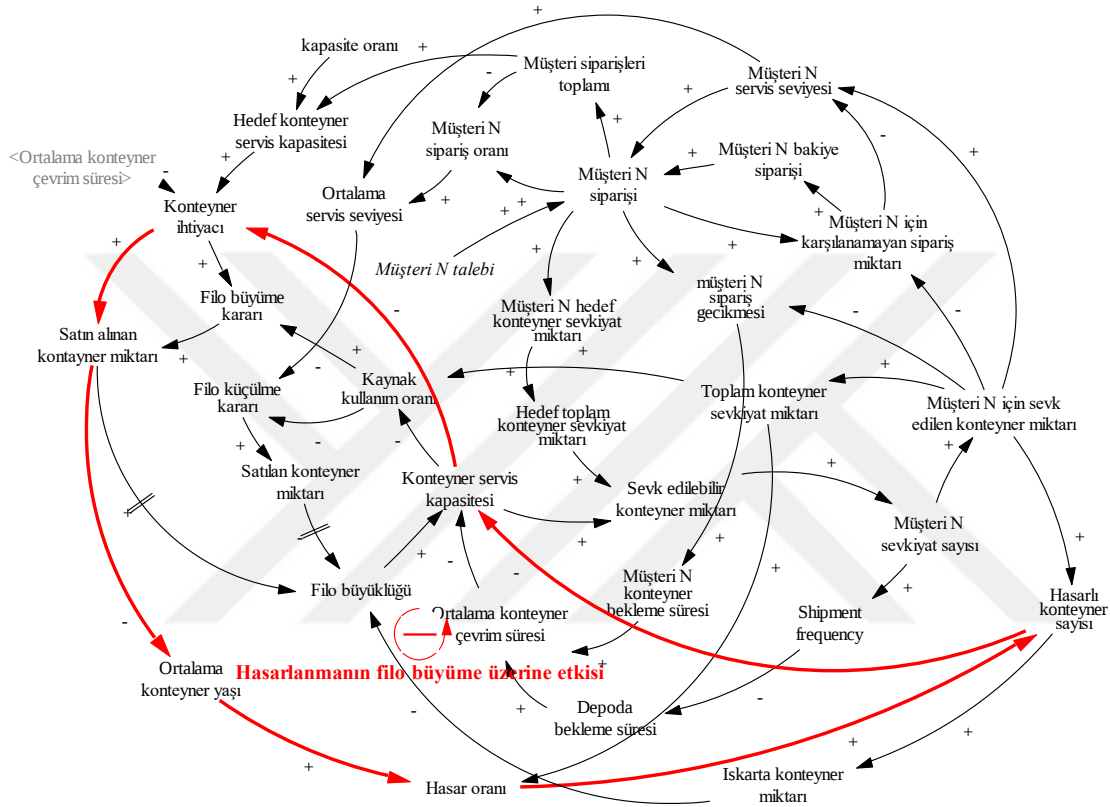


Şekil 5.15 : Konteyner hasarlanma döngüsü.



Şekil 5.16 : Konteyner ıskarta döngüsü.

Hasarlanma konteyner servis kapasitesi üzerinde dengeleyici bir etkiye sahiptir (Şekil 5.17). Konteyner yaş ömrü de, sevkiyat süreci gibi hasarlanma süresini etkileyebilmektedir. Konteyner yaş ortalaması arttıkça konteyner hasarlanma hızı artmakta, böylece konteyner servis kapasitesi etkilenmektedir. Konteyner servis kapasitesinde azalma konteyner ihtiyacını artırıp, yatırım hızını artırmaktadır. Filoya yeni katılan konteynerler yaş ortalamasını düşürerek hasarlanma hızını azaltmaktadır.



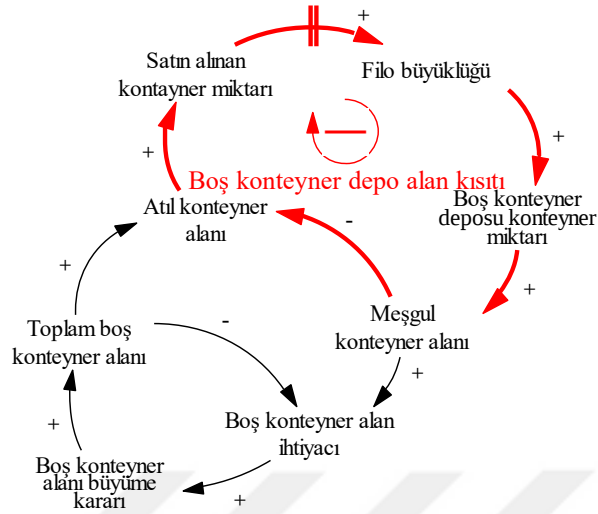
Şekil 5.17 : Hasarlanmanın filo büyüme üzerine etkisi.

5.2.4 Depo alanı planlama süreci

Depo alan planlama süreci de filo büyüklüğünü etkilediği için konteyner kapasite planlama süreci ile ilişkili bir süreçlerden biridir (Georgiadis, 2005; Jin, 2010). Boş konteyner depo alanı, konteyner servis kapasitesinin önemli bir bileşeni olan konteyner büyüklüğünü etkilediği için kısıtlayıcı bir değişkendir. Çünkü hareket gören konteynerlerin organizasyonu, temizlik ve bakımı ile atıl konteynerlerin istiflenmesi için açık ya da kapalı depo alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

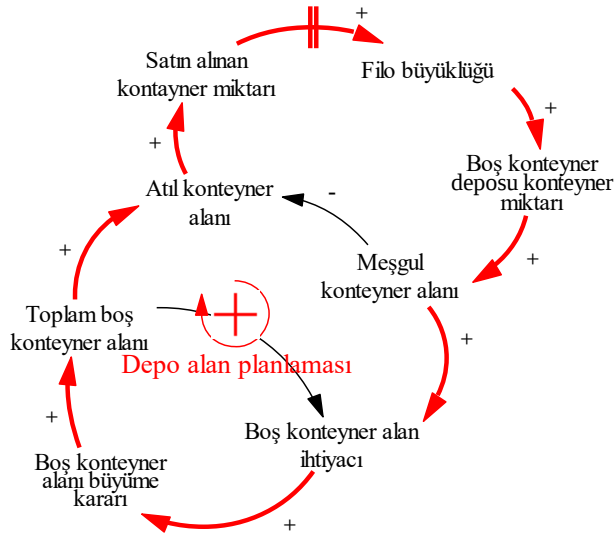
Filonun büyümesi ile birlikte konteyner çevrim süresine de bağlı olarak depo alanında daha fazla konteyner işlem görecektir ya da istiflenecektir. Alan kullanımının artmasına paralel olarak atıl konteyner alanı azalacağı için filo büyüme hızı

yavaşlayacaktır. Bu sebeple “Noş konteyner depo alan kısıtı döngüsü” dengeleyici bir yapıdadır (Şekil 5.18).



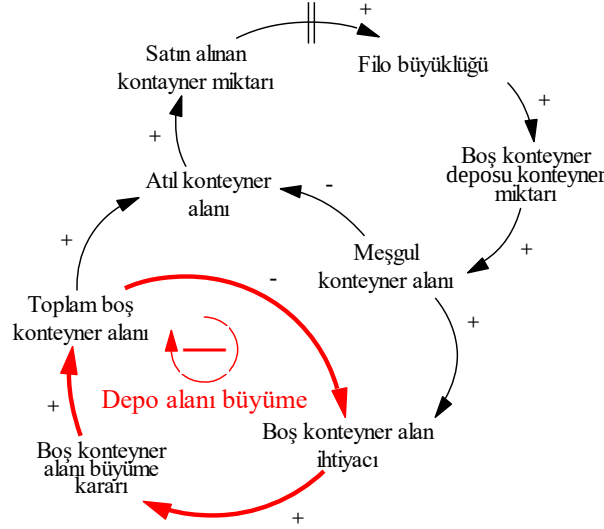
Şekil 5.18 : Boş konteyner depo alan kısıtı döngüsü.

Diğer taraftan filo büyümesi, boş konteyner alan ihtiyacını artıracacağı için boş konteyner alan büyüme kararlarını tetikleyecek ve boş konteyner alanı yatırımlarının yapılmasını sağlayacaktır. Böylece depo alanlarının büyümesi, kısıtların azalmasını sağlayarak yeni konteyner yatırımı fırsatlarını doğuracaktır. Bu ilişki yapısından dolayı “Depo alan planlama döngüsü” pekiştirici yapıdadır (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 : Depo alan planlaması.

Depo alan ihtiyacı ile alan yatırımı ilişkisini içeren döngü ise dengeleyici yapıdadır (Georgiadis, 2005; Jin, 2010). Çünkü alan ihtiyacı arttıkça büyüme eğilimi ve toplam depo alanı artar. Toplam depo alanı arttıkça ise alan ihtiyacı azalacaktır. Alan ihtiyacı azaldıkça ise büyüme eğilimi azalacaktır (Şekil 5.20).

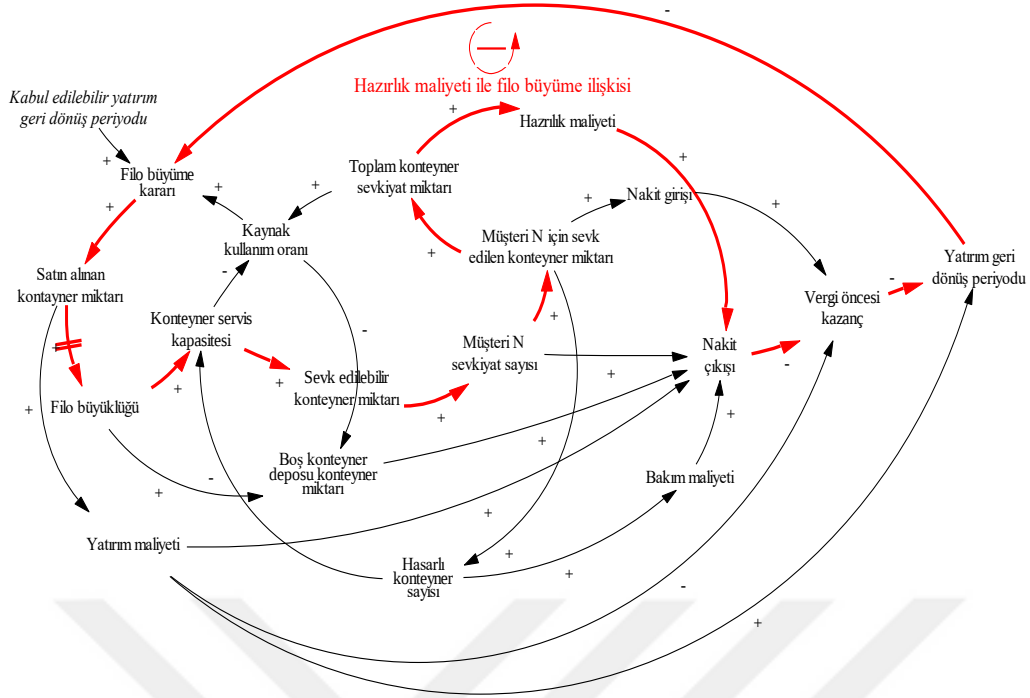


Şekil 5.20 : Depo alanı büyüme.

5.2.5 Finansal yönetim süreci

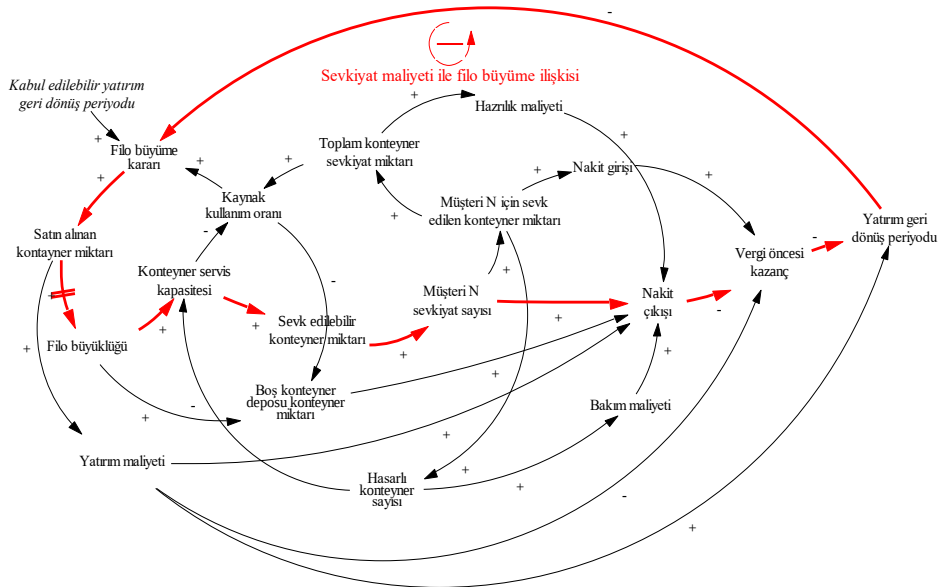
İşletmelerin, faaliyet alanlarındaki finansal performans göstergeleri ve iş stratejileri; büyüme, küçülme ya da çekilme kararlarında etkili rol oynamaktadır. Filo büyüme ve küçülme kararları, teknik fizibilite ile birlikte ekonomik fizibilite çalışmaları sonucuna göre alınır. İşletmelerin finansal yönetim süreçleri ile konteyner kapasite planlama süreci arasındaki etkileşim düşünüldüğünde, bu etkileşim bir çok dengeleyici ve pekiştirici geri bildirim döngüyü içermektedir. Konteyner finansal yönetim süreci içerisinde birçok maliyet kalemi olmakla birlikte, yalınlaştırmak adına ana maliyet kalemlerini içeren nedensel döngü diyagramları paylaşılmış ve çalışmada sunulmuştur.

Konteyner servis sağlayıcıların, stratejilerine ya da müşteriler ile yaptıkları sözleşmelerine bağlı olarak farklı iş modelleri ile faaliyetlerini sürdürmekle birlikte, genel olarak taşıdıkları yük miktarı ile orantılı olarak gelir elde etmektedirler. Yeni yatırım kararları alınırken birim konteynerin kara geçirdiği noktanın tespiti için konteyner geri dönüş periyodu önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Geri dönüş periyodu yüksek olan yatırım seçenekleri, işletmeler için yatırım yapılabilir olmaz iken; geri dönüş periyodu düşük olan yatırım seçenekleri yatırım yapılabilir görünmektedir. Konteyner başına kazanç oranındaki artış, yatırım iştahını artıracak için filo büyüme hızında artışa sebep olacak; tersi durum ise filo yatırımlarının azalmasına sebep olacaktır. Bu tanımlanan “Karlılık ile yatırım ilişkisi” geri bildirim döngüsü pekiştirici bir yapıya sahiptir (Şekil 5.21). İşletmeler tarafından stratejilerine



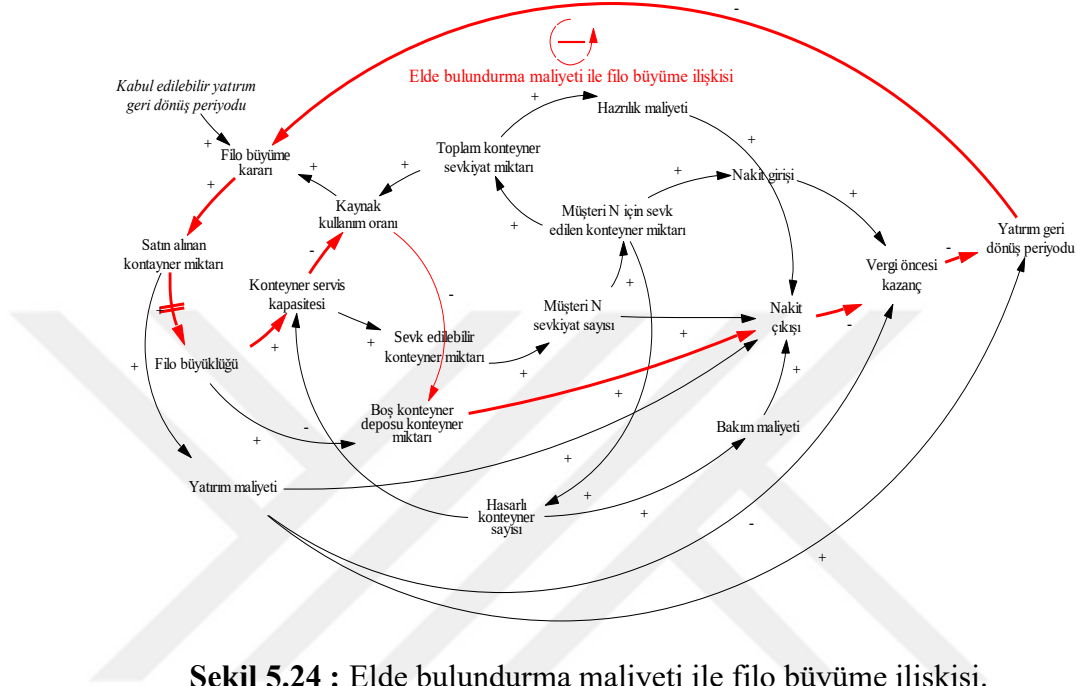
Şekil 5.22 : Hazırlık maliyeti ile filo büyüme ilişkisi.

Yüklü ya da yüksüz konteynerlerin sevkiyatları, taşıma maliyetlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Sevkiyat sayısının artması ile birlikte ilgili zaman aralığındaki taşıma maliyetleri yükselecek, bu durum yatırım geri dönüş periyodunun uzamasına bağlı olarak filo büyüme hızını azaltacaktır. Dolayısı “Sevkiyat maliyeti ile yatırım ilişkisi” geri bildirim döngüsü, dengeleyici bir yapıdadır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 : Sevkiyat maliyeti ile filo büyüme ilişkisi.

Yatırım kaynaklı konteyner filosundaki artış, konteyner deposundaki atıl konteyner miktarının artmasına sebep olabilecek, bu durum elde bulundurma maliyetlerini yükseltecektir. Elde bulundurma maliyetlerindeki artış ile birlikte filo büyüme hızları yavaşlayacaktır. “Elde bulundurma maliyeti ile filo büyüme ilişkisi” geri bildirim döngüsü, dengeleyici bir yapıdadır (Şekil 5.24).

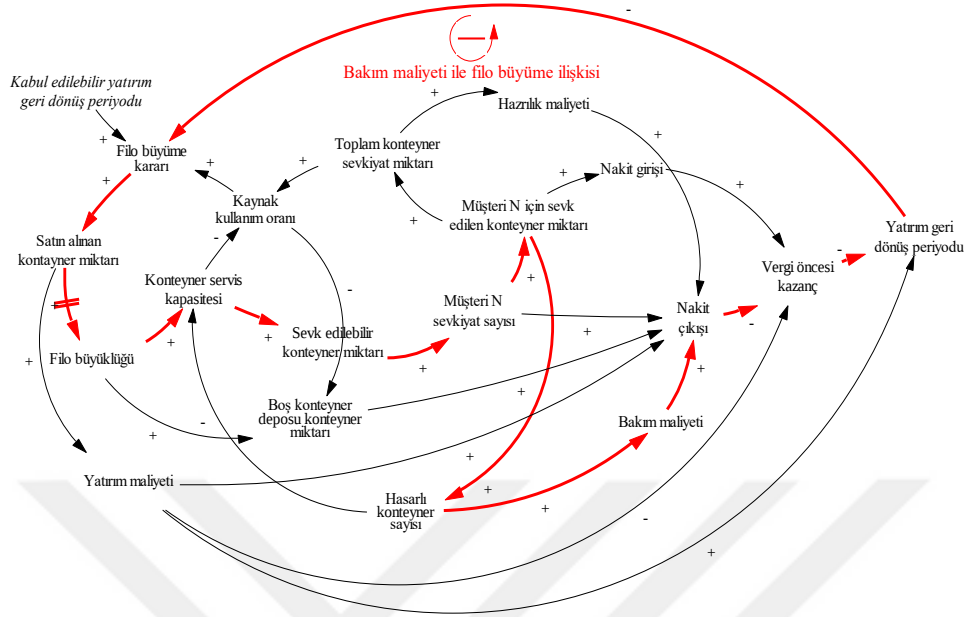


Şekil 5.24 : Elde bulundurma maliyeti ile filo büyüme ilişkisi.

Konteyner sevkiyatındaki artışa bağlı olarak konteynerlerin maruz kaldığı hareket sayısının artması, daha fazla konteynerin hasarlanmasına ve bakım ihtiyacının artmasına neden olacaktır. Bakım maliyetleri yükselecek ve konteyner başına kazanç oranı düşecektir. Bu durum da konteyner yatırım geri dönüş periyodunun uzaması kaynaklı filo büyümesinin yavaşlamasına neden olur. Bu geri bildirim yapısı itibari ile “Bakım maliyetleri ile filo büyüme ilişkisi” dengeleyici yapıdadır (Şekil 5.25).

Konteyner servis kapasite planlama süreci ile etkileşim içerisinde oldukları konteyner yönetimi alt süreçlerinin makro düzeyde kavramsal modellemesi yapılması ve ilgili kavramsal modelin sektör uzmanları ile mantıksal doğrulaması yapılması sonrasında; sürecin birçok dengeleyici ve pekiştirici döngüyü barındırması, nedensel döngü diyagramları ile politika analizinin sistemin davranışının kestiriminin zorlayıcı olması vb. nedenlerden dolayı bir sonraki aşamada benzetim modellemesi yapılmıştır. Konteyner sipariş ve sevkiyat süreci, Konteyner servis kapasitesi planlama süreci, Konteyner hasarlanma ve ıskarta süreci, Depo alanı

planlama süreci ve Finansal yönetim süreci gibi ana süreçlerin etkileşim haritasının çizildiği bu aşama benzetim modellemesinin alt yapısını oluşturmaktadır.



Şekil 5.25 : Bakım maliyeti ile filo büyüme ilişkisi.

5.3 Benzetim Modeli Geliştirme

Kavramsal modelleme çalışması yapılan göbek ve ispit ağ yapısına sahip konteyner taşıma zincirinin nedensel döngü diyagramından yararlanılarak, kapasite ve taşıma politikalarının sistem davranışına etkilerinin analizi ve işletmeye en fazla kazancı sağlayacak politikanın belirlenmesi amacıyla stok akış diyagramları geliştirilmiştir. Geliştirilen stok akış diyagramlarının ana yapısı Şekil 5.26'da sunulmuştur. Otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletme ile onun tedarikçisi arasında yurtdışı malzeme temin sürecinde kullanılan belirli bir tip konteyner akışı için sistem davranışı ve farklı konteyner servis kapasitesi planlama politikaları, geliştirilen bu benzetim modeli yardımıyla analiz edilmiş ve oluşturulan senaryo analizleri yardımıyla politika kümeleri kıyaslanmıştır. Süreç ve benzetim ile ilgili detaylar ve varsayımlar politika analizleri öncesinde paylaşılmıştır.

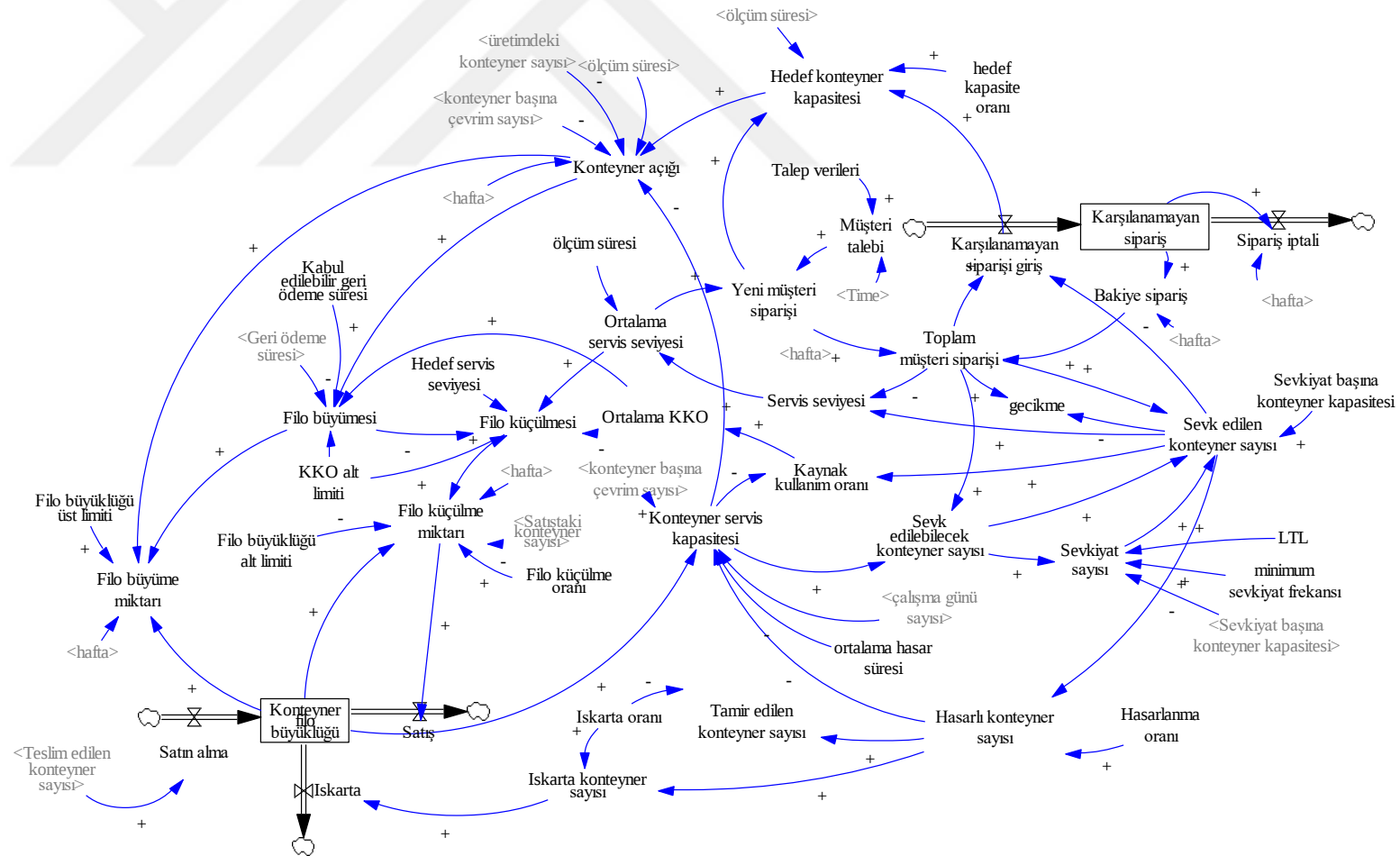
İlgili konteyner akış süreci incelendiğinde; konteyner servis sağlayıcısı, müşteriden gelen sipariş ve geçmiş zaman aralığından kalan bakiye siparişler ile kaynak kapasitesini dikkate alarak sevk edeceği konteyner sayısına göre nakliye planlamasını gerçekleştirir. Filo büyüklüğü ve sevkiyat sıklığı, firmanın konteyner servis kapasitesinin en önemli belirleyicisidir.

Vaka çalışması kapsamındaki konteyner taşıma zinciri gelir modeli incelendiğinde, müşteriye sevk edilen konteyner adedi ile orantılı olarak gelir elde edilmektedir. Müşteri siparişinin karşılanamadığı durumlarda ya da bakiye kaldığı durumlarda, anlaşma şartlarına bağlı olarak, ilgili endüstride cezai yaptırımlar ile karşılaşılabilir. Ancak vaka çalışması kapsamında sipariş karşılanamama ya da bakiye sipariş kalması durumunda ceza maliyetinin olmadığı kabul edilmiştir. Ancak müşteri servis seviyesi ile orantılı olarak satış kaybı olmaktadır. Çünkü müşteri karşılamayan sipariş için alternatif kanallardan yük taşımamı gerçekleştirebilmektedir. Bu durum işletmenin satış kaybına uğramasına ve stoksuz kalma kaynaklı kazancın azalmasına sebep olacaktır.

Tedarikçi tarafındaki süreçte ise müşteri ihtiyaçları doğrultusunda hazırlanan yükler, firma tarafından sağlanan boş konteynerlere doldurulur ve taşıma politikası doğrultusunda müşteri konumundaki otomobil ana sanayi firmaya gönderilir. İlgili ana sanayide dolu konteynerler boşaltılarak, yine taşıma politikası doğrultusunda konteyner servis sağlayıcının boş konteyner deposuna gönderilir. Boş konteyner deposuna gelen konteynerler temizlenir, sınıflandırılır, ihtiyaç var ise tamir edilir ve/veya bir sonraki sevkiyatta kullanılmak üzere depoda istiflenir. İlgili süreçte yük akışı tek yönlüdür, yani boş konteyner geri toplama sürecinde boş konteynerler ile birlikte dolularının akışı yoktur.

Analiz çalışmalarında, operasyonel kararları içeren araç rotalama problemi ve optimizasyonu kapsam dışı tutulmuş olup, sevkiyat için araç kısıtının olmadığı kabulü yapılmıştır. Ayrıca bir konteyner toplam çevrim süresini oluşturan taşıma ve bekleme sürelerinin düzgün dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Konteyner sevkiyatı için ihtiyaç duyulan hazırlık süresinin, ortalama konteyner bekleme süresi içerisinde olduğu kabul edilmiştir.

Konteyner taşıma zinciri faaliyetlerindeki maliyet kalemlerine bakıldığında; konteyner yaşam döngüsü içerisinde taşıma, elde bulundurma, hazırlık, lojistik yönetim ve bakım maliyetleri vb. ana maliyet bileşenleri oluşmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği üzere, müşteri siparişinin karşılanması ile gelir elde edilmekte olup, politika kümelerinin kıyaslanmasında finansal performans ölçütü olarak vergi sonrası kazanç dikkate alınmıştır.



Şekil 5.26 : Stok akış diyagramı (konteyner akışı).

Nedensel döngü diyagramlarında da açıklandığı üzere konteyner servis kapasitesi, talep öngörülerini doğrultusunda yönetilmekte ve bu doğrultuda filo planlama faaliyetleri yürütülür. Filo planlama süreci içerisinde filo büyüme ve küçülme kararları; müşteri servis seviyesi, kaynak kullanım oranı, hedef kapasite değeri ve yatırım geri dönüş süresi gibi performans ölçütleri doğrultusunda alınmaktadır (Chew ve diğ., 2002; Krudewig, 2015).

Talebin bir fonksiyonu olan hedef kapasite oranına göre filo yatırımları gerçekleştirilmekte olup, sistem sınırları açısından filo büyüklüğü belirli bir değer ile limitlendirilmiştir. Bunun ile birlikte, konteyner imalatı yapan firmalar için de kapasite kısıtı olması sebebiyle yeni konteyner siparişi, maksimum sipariş lotları ile sınırlandırılmıştır. Filo yatırım kararları gibi filo küçülme kararları da kaynak verimliliği için önemli konteyner servis kapasite planlama kararlarından biridir. Kaynak kullanım oranı seviyesine göre firmalar, verimsizlik oluşturan kaynaklardan kurtulma yoluna giderler ve bu kararları operasyon sürdürülebilirliği için belirli bir seviyeye kadar gerçekleştirirler. Bu sebeple filo büyüklüğü alt limit değeri ile sınırlandırılmıştır. Küçülme miktarı, hedeflenen hizmet seviyesinin üzerinde kalınacak düzeyde belirlenir. Yani mevcut hizmet seviyesi, hedeflenen hizmet seviyesinden düşük olur ise küçülme stratejilerinden kaçınılır.

Aşağıda konteyner servis kapasite planlama süreci ile ilgili kapasite planlama denklem setlerine denklem 5.1-5.15 arasında, denklem setlerinde kullanılan değişken ve parametre tanımlarına da çizelge 5.1’de yer verilmiştir. İlgili denklem setlerinde d_t , ilgili değişkenin birim zamandaki değişimini ifade eder.

$$FS(t + d_t) = FS(t) + Q_{Pur} * d_t - Scrap * d_t - Sell * d_t \quad (5.1)$$

$$Capacity = FS * t_{\text{çevrim}} - (Dmg * t_{dmg}) \quad (5.2)$$

$$RUR = Q_{\text{shipment}} / Capacity \quad (5.3)$$

$$RUR_{Avg} = SMOOTH(KKO/t_m) \quad (5.4)$$

$$Growth = IF(Payback \leq Payback_{accept}, 1, 0) * IF(Q_{req} > 0, 1, 0) * IF THEN ELSE(RUR_{Avg} > RUR_b, 1, 0) \quad (5.5)$$

$$\text{Downsize} = \text{IF}(\text{RUR}_{\text{Avg}} < \text{RUR}_b, 1, 0) * \text{IF}(\text{Growth} = 0 \ \& \ \text{SL}_{\text{desired}} < \text{SL}_{\text{avg}}, 1, 0) \quad (5.6)$$

$$\text{Qty}_{\text{growth}} = \text{MAX}(\text{MIN}(\text{Q}_{\text{req}}, (\text{FS}_{\text{upper}} - \text{FS})/w), 0) * \text{Growth} \quad (5.7)$$

$$\text{Q}_{\text{Pur}} = \text{Q}_{\text{delivered}} \quad (5.8)$$

$$\text{Qty}_{\text{delivered}} = \text{DELAYFIXED}(\text{Q}_{\text{pur_ord}}, t_{\text{pur}}, 0) \quad (5.9)$$

$$\text{Qty}_{\text{pur_ord}} = \text{MIN}(\text{Q}_{\text{growth}}, \text{Q}_{\text{max}}) \quad (5.10)$$

$$\text{Q}_{\text{prod}}(t + d_t) = \text{Q}_{\text{prod}}(t) + \text{Q}_{\text{pur_ord}} - \text{Q}_{\text{delivered}} \quad (5.11)$$

$$\text{Q}_{\text{sell}}(t + d_t) = \text{Q}_{\text{sell}}(t) + \text{Downsize}_{\text{order}} - \text{Q}_{\text{sold}} \quad (5.12)$$

$$\text{Q}_{\text{pur_ord}} = \text{MIN}(\text{Q}_{\text{growth}}, \text{Q}_{\text{max}}) \quad (5.13)$$

$$\text{Q}_{\text{sold}} = \text{DELAYFIXED}(\text{Downsize}_{\text{order}}, t_{\text{sell}}, 0) \quad (5.14)$$

$$\text{Qty}_{\text{downsize}} = \text{MIN}(\text{Downsize} * \text{FS} * r_{\text{downsize}}, \text{Downsize} * (\text{FS} - \text{FS}_{\text{lower}})) * \text{IF}(\text{Q}_{\text{sell}} > 0, 0, 1)/w \quad (5.15)$$

Çizelge 5.1 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları.

Değişken / Parametre	Tanım	Açıklama
FS	Konteyner filo büyüklüğü	Konteyner servis sağlayıcının sahip olduğu konteyner miktarı (konteyner)
FS _{upper}	Konteyner filo büyüklüğü üst limit	Konteyner filo büyüklüğünün çıkabileceği maksimum değer, sistem sınırı (konteyner)
FS _{lower}	Konteyner filo büyüklüğü alt limit	Konteyner filo büyüklüğünün düşebileceği minimum değer, sistem sınırı (konteyner)
Scrap	Iskarta	Konteyner çevriminde hasarlanma sonucu belirli haftalık konteyner ıskarta adedi (konteyner/hafta)
Sell	Satış	Filo küçülme kararı sonrasındaki satış kararı
Dmg	Hasarlı konteyner sayısı	Konteyner çevriminde esnasında hasarlanan konteyner sayısı (konteyner/hafta)
RUR	Kaynak kullanım oranı	Haftalık edilen konteyner sayısının, konteyner servis seviyesine oranı(%)
RUR _{Avg}	Ortalama KKO	Kaynak kullanım oranının ortalaması (%)
RUR _{lower}	KKO alt limiti	Küçülme stratejisinin uygulanmasında en düşük kaynak kullanım oranı değeri, (%)

Çizelge 5.1 (devam) : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları.

Değişken / Parametre	Tanım	Açıklama
Growth	Filo büyümesi	Filo büyüme kararı (0: yok, 1: var)
Downsize	Filo küçülmesi	Filo küçülme kararı (0: yok, 1: var)
Capacity	Konteyner servis kapasitesi	İlgili periyottaki sevk edilebilecek konteyner adedi (konteyner/hafta)
Payback	Geri ödeme süresi	Konteyner varlıklarının yatırım maliyetlerini ne kadar sürede karşıladığının göstergesi (ay)
Payback _{accept}	Kabul edilebilir geri ödeme süresi	Geri ödeme süresinin yatırım için kabul edilebilir değeri (ay)
SL _{avg}	Ortalama servis seviyesi	Müşteri siparişlerinin ortalama yüzde kaçının karşılandığının göstergesi (%)
SL _{desired}	Hedef servis seviyesi	Müşteri siparişlerinin hedeflenen karşılanma oranı göstergesi (%)
w	Hafta	Zaman birimi
t _{pur}	Satınalma süresi	Konteyner üreticisine verilen sipariştten konteynerin teslim edilmesine kadar geçen süre (hafta)
t _{sell}	Satış süresi	Konteyner satış kararından konteynerlerin elden çıkarılmasına kadar geçen süre
t _{dmg}	Konteyner hasarlanma süresi	Hasarlı bir konteynerin çevrim dışında kaldığı süre (gün)
t _{çevrim}	Konteyner başına ortalama çevrim sayısı	Bir konteynerin birim haftadaki depodan çıkıp, tekrar depoya dönüp sevk için hazır hale getirildiği tur sayısı (1/hafta)
t _m	Ölçüm süresi	Kontrol periyodunun süresi (hafta)
r _{downsize}	Filo küçülme oranı	Konteyner filosunun yüzde kaçının azaltılacağı (%)
Q _{max}	Sipariş lotu	Konteyner üreticisine verilebilecek maksimum konteyner sipariş miktarı (konteyner)
Q _{prod}	Üretimdeki konteyner sayısı	Konteyner üreticisinin üretim sürecindeki konteyner miktarı (konteyner)
Q _{sell}	Satıştaki konteyner sayısı	Satışı bekleyen konteyner miktarı (konteyner)
Q _{pur_ord}	Konteyner siparişi	Konteyner üreticisine verilen sipariş miktarı (Konteyner/hafta)
Q _{sold}	Satın alınan konteyner miktarı	Satışı yapılan konteynerlerin sistemden dışı akışı (konteyner/hafta)
Downsize _{order}	Küçülme iş emri	Satışa çıkarılacak konteynerin içe akışı (konteyner/hafta)
Q _{Pur}	Satın alınan konteyner	Konteyner üreticisinden satın alınan konteyner adedi (konteyner/hafta)
Q _{delivered}	Teslim edilen konteyner sayısı	Konteyner üreticisinin konteyner servis sağlayıcısına teslim ettiği konteyner miktarı (Konteyner/hafta)
Q _{growth}	Konteyner filo büyüme miktarı	Filoya kazandırılacak konteyner miktarı (Konteyner/hafta)
Q _{downsize}	Konteyner filo küçülme miktarı	Filonun küçülme konteyner miktarı (Konteyner/hafta)
Q _{req}	Konteyner açığı	Filo büyüme için ihtiyaç duyulan konteyner adedi (Konteyner/hafta)
Q _{shipment}	Sevk edilen konteyner sayısı	Müşteriye gönderilen haftalık konteyner miktarı (Konteyner/hafta)

Müşteri konumundaki otomotiv ana sanayi, yük taşıma ihtiyaçları ve konteyner servis sağlayıcı performansı doğrultusunda ilgili konteyner servis sağlayıcısına konteyner siparişi verir. Konteyner servis sağlayıcısı da toplam konteyner siparişine istinaden konteyner sevkiyat sürecini yöneterek siparişleri karşılamaktadır. Siparişin tamamının karşılanamadığı durumda; karşılanamayan sipariş, bakiye sipariş

durumuna düşerek bir sonraki zaman aralığında yeni siparişe eklenir. Fakat siparişlerin zamanında karşılanamaması konteyner servis sağlayıcısının servis performansının etkilenmesine ve dolayısı ile müşterinin konteyner siparişlerinin azalmasına sebep olabilir.

Talep ve sipariş yönetimi ile ilgili denklem setleri ve değişken/parametre açıklamaları denklem 5.16-5.22 ve çizelge 5.2’de paylaşılmıştır:

$$O_{\text{new}} = D * SL_{\text{avg}} \quad (5.16)$$

$$O_{\text{total}} = O_{\text{new}} + O_{\text{waiting}} \quad (5.17)$$

$$O_{\text{backorder}} = O_{\text{total}} - Q_{\text{shipment}} \quad (5.18)$$

$$O_{\text{waiting}}(t + d_t) = O_{\text{waiting}}(t) + O_{\text{backorder}} - O_{\text{satisfied_waiting}} \quad (5.19)$$

$$O_{\text{backorder}} = O_{\text{waiting}} \quad (5.20)$$

$$SL = \text{MIN}(Q_{\text{shipment}}/O_{\text{total}}) \quad (5.21)$$

$$SL_{\text{avg}} = \text{SMOOTH}(SL, t_m) \quad (5.22)$$

Konteyner servis sağlayıcıların sevkiyat süreci incelendiğinde, gelen sipariş doğrultusunda taşıma politikaları ve konteyner bulunurluk durumlarına göre sevkiyat yönetimi yapılmaktadır. Bu süreçte işletmeler için tır/kamyon doluluğunun sağlanarak taşıma verimliliğinin elde edilmesi ile, müşterinin siparişinin karşılanma oranını yükselterek satış hacminin artırılması arasındaki dengenin sağlanmasında taşıma politikasının belirlenmesi önemli bir karar konusudur. Nedensel döngü diyagramlarında da belirtildiği gibi; işletmeler için tam kamyon yük olana kadar sevkiyatların bekletilmesi ya da sipariş karşılama oranını yükseltmek amacıyla yükler tam kamyon doluluğu bekletmeden göndermesi arasındaki sevkiyat tercihi, konteyner başına taşıma maliyetlerini ve müşteri siparişi karşılama oranını etkileyeceği için toplam fayda ve uzun dönemli kazanç açısından önemli karar tercihidir.

Taşıma doluluğuna bağlı sevkiyat politikası yanında, konteyner stok bulunurluğu da sevkiyat sürecini etkileyen önemli girdilerden biridir. Konteyner bulunurluğu; konteyner başına çevrim sayısı, konteyner filo büyüklüğü ve toplam hasarlı

konteyner gün sayısının bir fonksiyonudur. Konteyner seyahat süresinin ve toplam hasarlı konteyner gün sayısının azaltılması, konteyner bulunurluğu ve servis kapasitesini artıracaktır.

Çizelge 5.2 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları 2.

Değişken / Parametre	Tanım	Açıklama
O_{new}	Yeni müşteri siparişi	Müşteri tarafından verilen yeni konteyner siparişi (konteyner/hafta)
D	Müşteri talebi	Değişken müşteri konteyner talep miktarı (konteyner/hafta)
O_{total}	<i>Toplam müşteri siparişi</i>	Müşterinin yeni ve bakiye siparişlerinin toplamı (konteyner/hafta)
$O_{waiting}$	Bakiye sipariş	Kapasite veya teknik kısıtlar sebebiyle önceki dönemde karşılanamayan sipariş adedi (konteyner/hafta)
$O_{backorder}$	Karşılanamayan sipariş	Karşılanamayan müşteri siparişleri birikimi (konteyner)
$O_{satisfied_waiting}$	Bakiye sipariş karşılama	Önceki dönemde karşılanamayan siparişin karşılanan miktarı (konteyner/hafta)
SL	Servis seviyesi	Müşteri siparişlerinin yüzde kaçının karşılandığının göstergesi (%)

Konteyner servis kapasite planlama süreci ile ilişkili sevkiyat denklemleri, denklem 5.23-5.25'te ve ilgili parametre/değişken tanımları çizelge 5.3'de paylaşılmıştır:

$$Q_{shipment} = \min(\min(Q_{available}, N_{shipment} * Cap_{truck}), O_{total}) \quad (5.23)$$

$$\begin{aligned} N_{shipment} &= \max(\text{IF}(\text{INT}(Q_{available}/Cap_{truck}) \\ &= (Q_{available}/Cap_{truck}), Q_{available} \\ &/Cap_{truck}, \text{INT}(Q_{available}/Cap_{truck}) + LTL), F_{min}) \end{aligned} \quad (5.24)$$

$$Q_{available} = \text{INT}(\min(Capacity, O_{total})) \quad (5.25)$$

Çizelge 5.3 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları 3.

Değişken / Parametre	Tanım	Açıklama
$Q_{available}$	Sevk edilebilecek konteyner sayısı	Konteyner deposunda sevke hazır konteyner sayısı (konteyner/hafta)
$N_{shipment}$	Sevkiyat sayısı	Haftalık konteyner sevkiyatı için planlanan sefer sayısı (sefer/adet)
Cap_{truck}	Sevkiyat başına konteyner sayısı	Kamyonun taşıyabileceği maksimum konteyner adedi
LTL	LTL	Erken sevkiyat taşıma durumu (1: erken sevkiyat, 0: geç sevkiyat)
F_{min}	Sevkiyat frekansı	Haftalık konteyner sevkiyatı için minimum sevkiyat sayısı (sefer/adet)

Bir konteyner sevkiyat döngüsüne bakıldığında, toplam çevrim süresi şu bileşenlerden oluşmaktadır: Boş konteynerin tedarikçiye ulaştırılmasında geçen süre, tedarikçi deposunda bekleme süresi, tedarikçiden müşteriye dolu konteynerin seyahat süresi, müşteride bekleme ve boşaltma süresi, boş konteyner deposuna geri taşıma süresi, boş konteyner deposunda sevkiyata hazırlanma ve bekleme süresi. Tedarikçi ve müşteride bekleme süreleri, sevkiyata sıklığına ve müşterinin konteyner emniyet süresine göre değişkenlik göstermektedir (Şekil 5.27).

88

Hasar ve ıskarta sürecini ifade eden denklem setleri, 5.26-5.28 denklemleri ile sunulmuştur. İlgili değişken/parametre tanımlarına çizelge 5.4’te yer verilmiştir.

$$D_{\text{mg}} = Q_{\text{shipment}} * r_{\text{dmg}} \quad (5.26)$$

$$\begin{aligned} \text{Scrap} = & ((r_{\text{scrap}} * D_{\text{mg}} - \text{INT}(r_{\text{scrap}} * D_{\text{mg}})) \\ & > \text{RANDOM UNIFORM}(0,1,1),1,0) + \text{INT}(r_{\text{scrap}} \\ & * D_{\text{mg}}) \end{aligned} \quad (5.27)$$

$$Q_{\text{repair}} = D_{\text{mg}} * (1 - r_{\text{scrap}}) \quad (5.28)$$

Çizelge 5.4 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları 3.

Değişken / Parametre	Tanım	Açıklama
r_{dmg}	Hasarlanma oranı	Geri toplanan konteynerlerin yüzde kaçının hasarlandığının oranı (%)
r_{scrap}	İskarta oranı	Hasarlanan konteynerlerin yüzde kaçının ıskarta edildiği (%)
Q_{repair}	Tamir edilen konteyner sayısı	Hasarlanan konteynerlerin haftalık tamir edilen miktarı (konteyner/hafta)

Konteyner sisteminde gelir ve gider akışları ile ilgili detaylar Şekil 5.28’de yer alan stok akış diyagramında tasvir edilmiştir. Konteyner servis sağlayıcıların gelir modelleri incelendiğinde, farklı iş modelleri olmakla birlikte taşıdıkları yük, kiraya verdikleri konteyner sayısı, miktar ve/veya süre ile orantılı olarak sipariş geliri elde etmektedirler. Çalışma kapsamında yer alan konteyner taşıma zinciri ağı için gelir modeli, taşıdıkları yük ile yani sevk edilen konteyner sayısı ile orantılıdır.

Konteyner taşımacılığı ve kiralama hizmeti ile ilgili faaliyetlerin yürütülmesi bir takım maliyetlere sebep olmaktadır. Haftalık sevkiyat sayısına ve sevkiyat başına taşıma maliyetleri ile orantılı olarak, ilgili zaman aralığı için taşıma maliyetleri oluşmaktadır. Bunun ile birlikte; konteynerlerin elleçleme, sevk hazır hale getirilme ve araçlara yüklenmesi ile ilgili maliyetler, hazırlık maliyetlerini oluşturur ve bu hazırlık maliyetleri sevk edilen konteyner sayısı ile orantılıdır. Geri toplanan konteynerler; sınıflandırma, temizlik ve bakım vb. işlemleri sonrasında belirli istif kuralları doğrultusunda stoklanır. Bu stoklama operasyonu için alan, işçilik vb. kaynak ihtiyaçları oluşmakta olup, bu kaynaklar elde bulundurma maliyetlerinin oluşmasına sebep olmaktadır.

Tamir ve bakım sürecinde de bahsedildiği üzere, hasarlı konteynerlerin tamir operasyonları da bakım maliyetlerini oluşturur. Bakım maliyetleri, tamir edilen konteyner sayısı ile kasa başına ortalama tamir maliyetinin çarpımından oluştuğu varsayılmıştır.

Ayrıca operasyonun devamlılığı ve artan müşteri siparişlerinin karşılanması amacıyla filo planlama süreci kapsamında konteyner yatırımı yapılmaktadır. Konteyner yatırım maliyetleri, satın alınan konteyner sayısı ve birim fiyatı ile orantılı bir değere sahiptir. İlgili sürecin modellenmesi yapılırken; birim konteyner maliyetleri, satın alınan adetten bağımsız ve sabit olduğu kabul edilmiştir. İlgili ekipmanların amortisman değerlemesi için model kapsamında eşit tutarlı/sabit amortisman hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

İşletmelerin yatırım politikaları için kullandığı göstergelerden biri de yatırım geri dönüş süresidir. Ortalama birim konteyner yatırım geri dönüş oranı, toplam varlık değerinin, vergi öncesi kazanç (EBT: Earnings before tax) oranlanması ile elde edilir. İşletmeler, filo büyüme kararlarını alırken bu göstergeyi girdi olarak kullanmaktadır. Yatırım geri dönüş süresi yüksek olan seçenekler ya da durumlarda yatırım yapmayı tercih etmezler.

Konteyner servis sağlayıcının gelir ve gider akışı ile ilgili denklem setleri aşağıda paylaşılmıştır (Denklem 5.29-5.51).

$$Income = P * Q_{shipment} * (1 + r_{r_transport}) \quad (5.29)$$

$$Income_{flow} = Income \quad (5.30)$$

$$Income_{cum.}(t + d_t) (Pb) = Income_{cum.}(t) + Income_{flow} \quad (5.31)$$

$$TC_{r_transport} = N_{shipment} * c_{r_transport} \quad (5.32)$$

$$TC_{transport} = N_{shipment} * c_{r_transport} \quad (5.33)$$

$$TC_{holding} = c_{holding} * Q_{WH} \quad (5.34)$$

$$TC_{setup} = Q_{shipment} * c_{setup} \quad (5.35)$$

$$TC_{repair} = Q_{repair} * c_{repair} \quad (5.36)$$

$$Outcome = TC_{holding} + TC_{transport} + TC_{r_transport} + TC_{setup} + TC_{repair} + TC_{mng} \quad (5.37)$$

$$Outcome_{cum.}(t + d_t) (Pb) = Outcome_{cum.}(t) + Outcome_{flow} \quad (5.38)$$

$$Profit_{gross} = Income_{flow} - Outcome_{flow} \quad (5.39)$$

$$EBITDA_{flow} = Profit_{gross} - TC_{finance} + Income_{non-op.} \quad (5.40)$$

$$EBITDA(t + d_t) (Pb) = EBITDA(t) + EBITDA_{flow} \quad (5.41)$$

$$INV = Qty_{pur} * c_p \quad (5.42)$$

$$V_{asset}(t + d_t) (Pb) = V_{asset}(t) + INV \quad (5.43)$$

$$TC_{finance} = V_{asset} * r_{interest}/52 \quad (5.44)$$

$$TC_{dep.} = FS * (c_p - c_{scrap}) * r_{dep.} \quad (5.45)$$

$$EBIT = EBITDA_{flow} - TC_{dep.} \quad (5.46)$$

$$TC_{interest} = EBIT * (1 - 1/(1 + r_{interest})^{(INT((Time - 1)/52) + 1)}) \quad (5.47)$$

$$EBT_{flow} = EBIT - TC_{interest} \quad (5.48)$$

$$EBT(t + d_t) = EBT(t) + EBT_{flow} \quad (5.49)$$

$$EBT_{avg} = SMOOTH(EBT_{flow}, t_m) \quad (5.50)$$

$$Payback = (V_{asset} + FS_0 * c_p)/(EBT_{avg})/52 \quad (5.51)$$

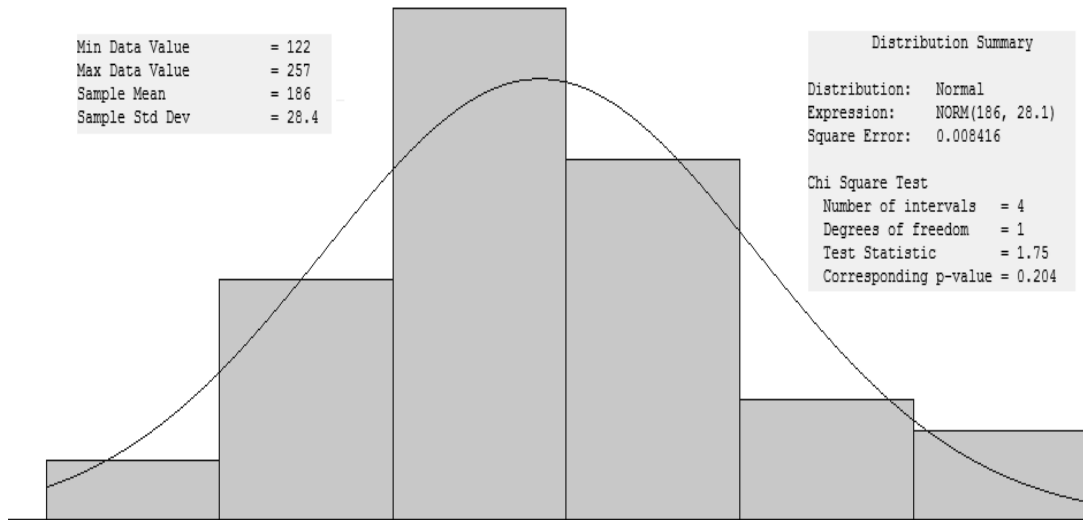
Denklem 5.29-5.51’de tarifli değişken/parametre tanımları Çizelge 5.5’te sunulmuştur.

Çizelge 5.5 : Değişken/parametre tanımları ve açıklamaları 4.

Değişken / Parametre	Tanım	Açıklama
Income	Sipariş gelirleri	Müşteriye konteyner sevkiyatı sonrasında elde edilen haftalık gelir (Pb/hafta)
P	Birim sipariş ücreti	Birim konteyner sevkiyatı için müşterinin ödediği ücret (Pb)
$r_{r_transport}$	Geri yönde sipariş oranı	Tekrar konumlandırma için tersine lojistik akışındaki konteynerlerin yüzde kaçının dolu olduğu (%)
$Income_{flow}$	Gelir akışı	Konteyner servis hizmetinden elde edilen gelir akışı (Pb/hafta)
$Income_{cum.}$	Kümülatif gelir	Konteyner servis hizmetinden elde edilen gelir toplamı (Pb)
$TC_{r_transport}$	Geri taşıma maliyeti	Haftalık geri sevkiyat için sefer maliyeti (Pb/hafta)
$c_{r_transport}$	Sevkiyat başına geri taşıma maliyeti	Geri sevkiyat için sefer başına maliyet (Pb/sefer)
$TC_{transport}$	Taşıma maliyeti	Haftalık sefer maliyeti (Pb/hafta)
$c_{transport}$	Sevkiyat başına taşıma maliyeti	Sefer başına maliyet (Pb/sefer)
$TC_{holding}$	Elde bulundurma maliyeti	Haftalık elde bulundurma maliyeti (Pb/konteyner)
$c_{holding}$	Konteyner başına elde bulundurma maliyeti	Konteyner başına elde bulundurma maliyeti (Pb/konteyner)
TC_{setup}	Hazırlık maliyeti	Haftalık hazırlık maliyeti (Pb/hafta)
c_{setup}	Konteyner başına hazırlık maliyeti	Konteyner başına hazırlık maliyeti (Pb/konteyner)
TC_{repair}	Bakım maliyeti	Haftalık konteyner bakım maliyeti (Pb/hafta)
c_{repair}	Konteyner başına bakım maliyeti	Konteyner başına bakım maliyeti (Pb/konteyner)
Q_{WH}	Depodaki konteyner sayısı	Boş konteyner deposunda yer alan konteyner miktarı (konteyner)
Outcome	Gider	Gider toplamı (Pb/hafta)
TC_{mng}	Lojistik yönetim maliyeti	Lojistik akışın yönetim maliyeti (Pb/hafta)
$Outcome_{flow}$	Gider akışı	Haftalık gider akışı (Pb/hafta)
$Outcome_{cum.}$	Kümülatif gider	Toplam gider (Pb)
$Profit_{gross}$	Brüt kar	Gelir ve gider arasındaki fark (Pb/hafta)
EBITDA	EBITDA	Vergi, faiz ve amortizman öncesi kazanç (Pb)
INV	Yeni yatırım maliyeti	Haftalık konteyner yatırım maliyetleri (Pb/konteyner)
c_p	Birim konteyner fiyatı	Birim konteyner ücreti (Pb/hafta)
V_{asset}	Toplam yeni varlık konteyner değeri	Filodaki konteynerlerin toplam finansal değeri (Pb)
$TC_{finance}$	Finansman harcamaları	Haftalık finansman giderleri (Pb/hafta)
$r_{interest}$	Faiz oranı	Faiz oranı (%)
$TC_{dep.}$	Amortisman maliyeti	Amortisman maliyeti (Pb/hafta)
$Income_{non-op.}$	Faaliyet dışı kazanç	Konteyner satışlarından elde edilen kazanç (Pb/hafta)
c_{scrap}	Birim hurda maliyeti	Konteyner birim hurda maliyeti (Pb/konteyner)
$r_{dep.}$	Amortisman oranı	Amortisman oranı (%)
$TC_{interest}$	Faiz harcamaları	Haftalık faiz harcamaları (Pb/hafta)
EBIT	EBIT	Vergi ve faiz öncesi kazanç tutarı (Pb)
EBT_{flow}	EBT akışı	Vergi ve faiz öncesi kazanç akışı (Pb/hafta)
EBT	EBT	Vergi öncesi kazanç (Pb)
FS_0	Başlangıç konteyner sayısı	Filodaki başlangıç konteyner miktarı (konteyner)

Vaka çalışması kapsamında seçilen konteyner servis sağlayıcısının hizmet verdiği otomotiv anasanyı firması ile tedarikçisi arasındaki konteyner akışına ait veriler toplanmış ve bu veriler, simülasyon çalışması için stok akış diyagramlarına girdi olarak verilmiştir. Vaka çalışmasında kullanılan talep verilerinin dağılımı ARENA Input Analyzer isimli araç yardımıyla incelenmiş olup şekil 5.29’de dağılım ve veri özellikleri paylaşılmıştır. Finansal, zaman, talep ve filo parametreleri ise çizelge 5.6’da sunulmuştur.

45 haftalık sipariş verileri incelendiğinde verilerin %5 anlamlılık derecesi ile 186 ortalama ve 28.4 standart sapmaya sahip normal dağılımdan geldiği tespit edilmiştir (Şekil 5.29). Bunun ile birlikte sektör uzmanlarının belirli zaman aralıklarında araç satış öngörülerine paralel olarak taleplerin de artacağı öngörüsü vardır ve bu öngörüler, talep verilerine yansıtılmıştır. Yani, Hafta 65’te 15, Hafta 85’te 40 birim artış olacağı öngörülerini modelin müşteri talep parametresine dahil edilmiştir.



Şekil 5.29 : Konteyner talep dalgalanmaları.

Yurtdışı siparişleri haftalık toplandığı için simülasyon zaman birimi haftalık olarak alınmıştır ve 200 haftalık bir dönemin benzetimi yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Modelin varsayımları ise aşağıda sunulmuştur:

- Konteyner taşıma sipariş ücretlerinin zamana ve adede göre değişmediği varsayılmıştır.
- Birim maliyet parametrelerinin zamana ve adede göre değişmediği varsayılmıştır.

- Konteyner üretim ve satış süresi sabit kabul edilmiştir. Satın alınan konteynerler belirli bir gecikme sonrasında filoya dahil edilebilmektedir.
- Konteyner sevkiyat süresi, tedarikçi emniyet stok süreleri sabit kabul edilmiştir.
- Taşımanın, tek tip ürün ve araç ile yapıldığı varsayılmıştır. Konteyner taşıma için kullanılan araçların sınırsız olduğu kabul edilmiştir.
- Faiz oranı sabit kabul edilmiştir.
- Eşit tutarlı/sabit amortisman hesaplama yöntemi ile hesaplama yapılmıştır.
- Simülasyon koşum süresi boyunca sözleşme koşullarının değişmediği varsayılmıştır.

Çizelge 5.6 : Vaka çalışması parameter tablosu.

SİMÜLASYON PARAMETRELERİ	Zaman birimi	Hafta
	Bitiş Zamanı	200
	Zaman adımı	1
FİNANSAL PARAMETRELER	Konteyner taşıma sipariş ücreti	300(TL/RTI)
	Sevkiyat başı taşıma maliyeti	1250(TL/sefer)
	Sevkiyat başı geri toplama maliyeti	1250(TL/sefer)
	Birim elde bulundurma maliyeti	1,6(TL/RTI)
	Konteyner başına hazırlık maliyeti	2,5(TL/RTI)
	Konteyner başına bakım maliyeti	18(TL/RTI)
	Haftalık birim lojistik yönetim maliyeti	28(TL/hafta)
	Konteyner birim satınalma maliyeti	1240(TL/RTI)
	Faiz oranı	10%
ZAMAN PARAMETRELERİ	Satın alma süresi	6(day)
	Satış süresi	4(day)
	Konteyner sevkiyat süresi	UNIFORM(7,8)(gün)
	Tedarikçi emniyet stok süresi	2 (day)
TALEP/SİPARİŞ PARAMETRELERİ	Konteyner talep miktarı (<Hafta 45)	NORM(186,28.4) (RTI/ hafta)
	Konteyner talep miktarı (Hafta 46-84)	NORM(186+15,28.4) (RTI/hafta)
	Konteyner talep miktarı (Hafta 45- 200)	NORM(186+55,28.4) (RTI/ hafta)
FİLO PARAMETRELERİ	Başlangıç konteyner miktarı	850
	Minimum filo büyüklüğü	600
	Maksimum filo büyüklüğü	1500
	Iskarta oranı	1%
	Hasar oranı	1%

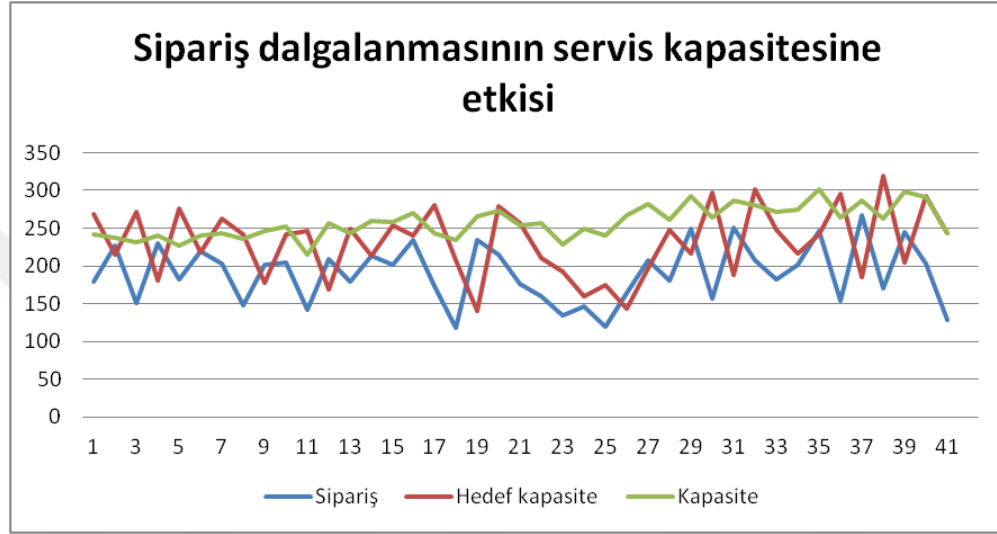
Konteyner kapasite planlama süreci ve etkileşimli süreçler ile ilgili stok akış diyagramları oluşturup, ilgili ilişkiler matematiksel olarak modellendikten sonra bölüm 5.4'te model doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

5.4 Model Güvenilirlik Testi

Geliştirilen sistem dinamiği benzetim modelinin, gerçek dünya koşullarını yansıtır yansıtmadığını kontrolü için modeli geçerliliği ve kalitesinin analizi gerekmektedir (Georgiadis ve Besiou, 2010). Model kalite ve geçerliliğinin kontrolü için yayın taramasında araştırmacılar tarafından birçok test önerisinde bulunulmuştur. Sterman (2000) modelin işlevselliğini değerlendiren testlerden birkaçının yapılmasının, model doğrulama ve güvenilirlik süreci için yeterli olacağını iddia etmiştir. Bu sebeple tasarlanan benzetim modelinin gerçek hayat problemini yansıtır yansıtmadığının değerlendirmesi için yayın taramasında önerilen aşağıdaki doğrulama testlerinden yararlanılmıştır. Yapılan testler sıra ile aşağıda paylaşılmıştır.

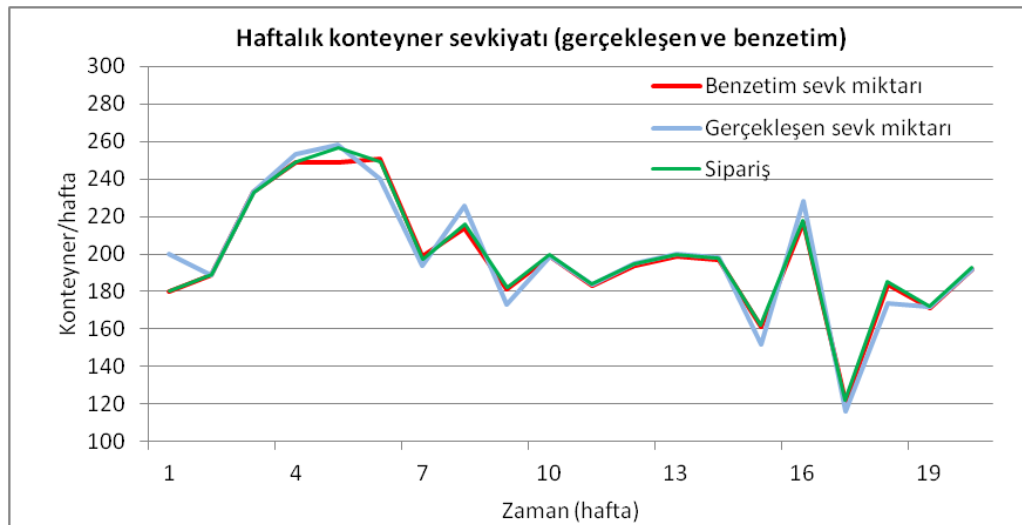
- Geliştirilen sistem dinamiği modelinin mantıksal tutarlılığı, nedensel döngü diyagramları üzerinden sektör uzmanları ile birlikte incelenmiş ve detay seviyesinin yeterli olduğu teyit edilmiştir. Ayrıca konteyner sistemine ait nedensel döngü diyagramları, tedarik zinciri süreçleri ile benzer döngüleri içermektedir.
- Sistem dinamiği modelinin, kusursuz bir şekilde çalıştığının tespiti için fiktif verilerle tanımlanan süre (200 hafta) boyunca çalıştırılmış ve simülasyon koşusu sırasında hata gözlenmemiştir. Bunun yanında birim kontrolü için çalıştırılan simülasyonda da herhangi bir hata gözlenmemiştir.
- İlgili model ve model denklemleri, sektör uzmanları tarafından değerlendirilmiştir.
- Teorik yapısal test için model denklemleri “kamçı etkisi” gibi iyi bilinen kavramsallaştırılmış jenerik modellerle karşılaştırılmıştır ve davranış benzerliği gözlemlenmiştir. Şekil 5.30’da görüldüğü üzere sipariş değişimleri gecikmeli olarak hedef kapasite değerine yansımıştır.
- Olağandışı koşullar altında sistemin davranışını test etmek için çok yüksek ve düşük girdi parametre değerleri ile kullanılarak müşteri siparişi karşılama oranı, hizmet seviyesi, nakliye sıklığı, filo planlama ile ilgili sistem davranışı incelenmiştir. Örneğin; yüksek müşteri talep değerinde müşteri karşılama oranı ve hizmet seviyesi düşmekte, sipariş artışına bağlı nakliye sıklığı artmaktadır.

- Belirli bir talep periyodu için gerçek sevkiyat miktarları ile simülasyon sonucu çıktıları karşılaştırılmıştır (Şekil 5.31). Ortalama mutlak hata 5.45, ortalama mutlak yüzde hata %3 olarak tespit edilmiş, gerçekleşen sevkiyat miktarı ile simülasyon sonucu çıkan sevkiyat miktarı arasındaki korelasyon 0.97 bulunmuştur. İlgili hata değerleri ile korelasyon değerinin, model güvenilirliği için kabul edilebilir olduğu değerlendirilmiştir. İlgili test sonuçları Çizelge A.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.30 : Kamçı etkisi.

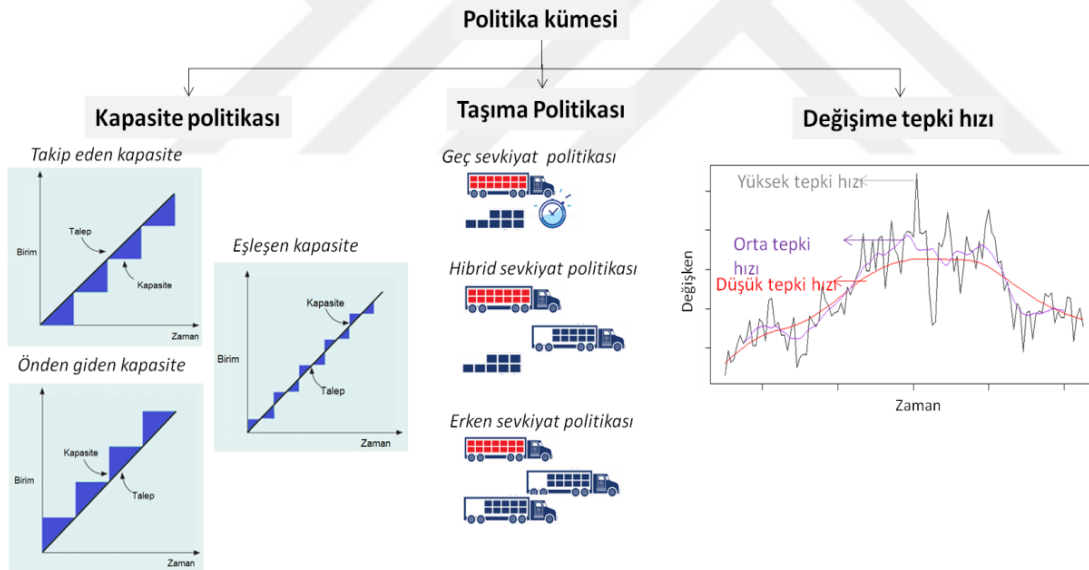
Sterman’ın (2000) da model doğrulama çalışmalarından beklediği gibi; yapılan testler gerçek dünyayı yansıtmaya açısından yeterli, ikna edici, sistemi tanımlama ve anlama açısından da yeterli olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.31 : Gerçekleşen sevkiyat ile simülasyon sonucu kıyaslaması.

5.5 Politika Tasarımları ve Analizleri

Konteyner taşıma zincirinde değişen piyasa koşullarında finansal açıdan en uygun konteyner servis kapasite politika kümesinin tespiti amacıyla verimlilik ve/veya hızlı cevap verme stratejilerinin tetiklediği çeşitli kapasite ve taşıma politikalarından oluşan politika kümeleri türetilmiş ve simülasyon modelleri yardımıyla bu politika kümeleri iteratif olarak analiz edilmiştir. Senaryo analizleri kapsamında; Talebe göre farklı kapasite planlama politikalarının analizi, farklı taşıma politikalarının kapasite planlama sürecine etkisinin analizi, farklı değişime tepki hızının kapasite planlama politikalarına etkisinin analizi olmak üzere üç farklı senaryo grubu oluşturularak politika analizi için 9 farklı temel senaryo analiz edilmiştir. Senaryo analizine konu olan politikaları içeren politika kümesi Şekil 5.32’de gösterilmiştir. İlgili senaryo analizleri gerçekleştirilirken, senaryo grubu çalışmaları altında finansal kazancı en yüksek olan politika kombinasyonu seçilmiş ve bir sonraki senaryo analizi çalışmasında, referans kabul edilerek simülasyon çalışmaları yürütülmüştür.



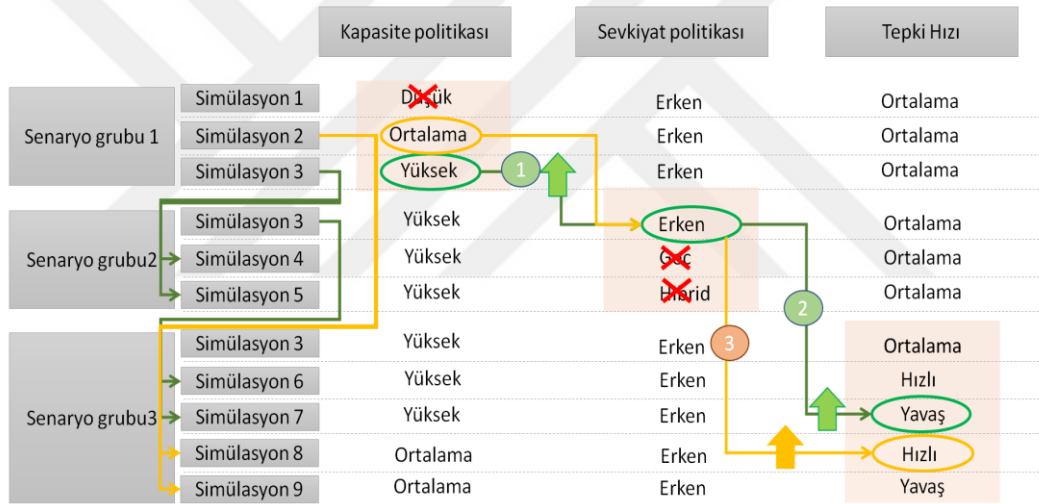
Şekil 5.32 : Politika kümesi.

Verimlilik ve hızlı cevap verme stratejilerine göre konteyner servis sağlayıcıları; talebe göre kapasitelerini seviyelendirmek için *önden giden kapasite/kapasite liderliği*, *geriden takip eden kapasite* veya *eşleşen/ortalama kapasite* politikalarını uygulamaktadır. Talebe göre farklı kapasite planlama politikalarının, işletme finansal performansına etkilerinin gözlemlenmesi için farklı seviyede hedef kapasite oranına sahip simülasyon modelleri, senaryo grubu 1 kapsamında belirlenen koşu periyodu

boyunca çalıştırılmıştır. Belirlenen piyasa koşullarında hangi politikanın finansal açıdan kazancının daha yüksek olacağı belirlenmiştir.

İşletmenin kapasite planlaması ve finansal kazancı üzerinde, taşıma politikaları da önemli rol oynaması sebebiyle, senaryo grubu 1’de baskın çıkan senaryo referans alınarak farklı taşıma politikalarının sistem davranışına etkisi de senaryo grubu 2 kapsamında analiz edilmiştir. Çünkü taşıma politikasındaki tercihler, hedef kapasite oranına erişmek için filo büyüklüğü ile birlikte finansal getiri ve hizmet seviyesini de etkiler. Erken sevkiyat ve geç sevkiyat politikalarının kıyaslaması yapılmıştır.

Ardından baskın çıkan politika kombinasyonu üzerinden türetilen ve değişime karşı tepki hızları farklı olan politika kombinasyonlarının finansal performansa etkileri incelenmiştir. Şekil 5.33’te yukarıda bahsi geçen iteratif senaryo analizi çalışmaları özetlenmiştir.



Şekil 5.33 : İteratif senaryo analizi çalışmaları.

Senaryo grupları içerisinde tanımlanmış senaryo analizlerinin tamamlanmasının ardından optimuma yakın bir kazanç değerini elde edebilmek için finansal performansı yüksek çıkan politikalar üzerinden hedef kapasite oranı kademeli şekilde artırılıp azaltılarak simülasyon çalışmaları tekrarlanmış ve optimuma yakın karar değişkenleri tespit edilmiştir. Politika tercihlerindeki hassasiyetin kaybolduğu noktanın ya da politika tercihlerinin değiştiği noktanın bulunması amacıyla duyarlılık analizi çalışmaları yürütülmüştür.

Senaryo analizleri, parametre iyileştirme çalışmaları ve duyarlılık analizleri aşağıda sırası ile paylaşılmıştır.

5.5.1 Senaryo analizleri

5.5.1.1 Talebe göre kapasite planlama politikalarının etkisi

İşletmeler, şirket stratejileri doğrultusunda müşterilerine daha iyi hizmet sunabilmek ve operasyon verimliliklerini sağlayabilmek amacıyla konteyner servis kapasitelerini talebe göre seviyelendirmeye çalışmaktadırlar. Verimlilik stratejini benimseyen firmalar, atıl kapasite bulundurmamak adına talebe göre kapasitenin düşük olduğu politika olan *geriden takip eden kapasite politikası*nı uygulamayı tercih ederler ve hedef kapasite oranını müşteri talebinin belirli bir seviye altında tutarak konteyner filo planlama faaliyetlerini yürütürler. Geriden takip eden kapasite politikası altında sistem davranışının analizi için ilk simülasyon modeli, hedef kapasite oranı %80 alınarak çalıştırılmıştır. Bu hedef kapasite oranına göre konteyner servis kapasitesi, ortalama talebin 0.2 oranında geride olacak şekilde filo yatırımı kararları alınmaktadır.

Hızlı cevap verme stratejisini benimseyen firmalar ise müşteri sipariş karşılama ve servis seviyesini yüksek tutmayı hedefleyerek, konteyner servis kapasitesini talebin önünden gidecek şekilde planlar. Böylece satış kaçırılmamasını ya da daha az satış kaçırılmasını hedefler. Talebe göre kapasitenin yüksek olduğu kapasite liderliği/önden giden kapasite politikasının finansal etkisinin incelenmesi için hedef kapasite oranı %120 alınarak sistem davranışı incelenmiştir. İlgili modelde konteyner servis kapasitesi, ortalama talebin 1.2 katında tutulacak şekilde filo planlaması hedeflenir.

Geriden takip eden ve önden takip eden kapasite politikalarının uygulandığı modele ilave olarak taleple aynı seviyede kapasite tutulmasını hedefleyen eşleşen/ortalama kapasite politikasının sistem davranışına etkisinin de incelenmesi için hedef kapasite oranı %100 alınarak model çalıştırılmıştır.

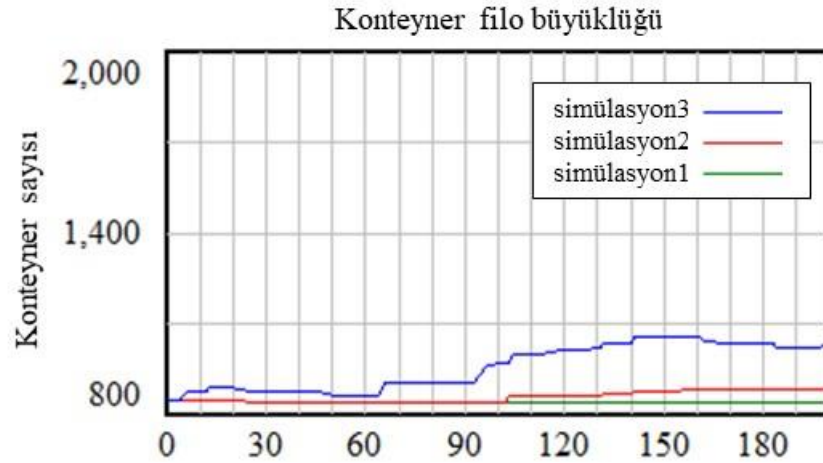
Hedef kapasite değerinin dışındaki parametre değerlerinin aynı olduğu koşullar altında geriden takip eden kapasite, eşleşen kapasite ve önden giden kapasite politikaları 3 farklı simülasyon modeli yardımıyla kıyaslanmıştır. İlgili simülasyon modelleri Çizelge 5.6, Çizelge 5.7 ve Şekil 5.29'daki parametre değerleri ile çalıştırılmıştır. İlgili modellerde kaynak kullanım oranı %75'in altına düştüğünde küçülme kararları alınmakta olup, hizmet seviyesi %90'ın altında filo küçülme kararları alınmamaktadır. Ayrıca bu senaryo grubu 1 kapsamında talebe göre taşıma

politikası erken sevkiyat politikası olan kısmi yük taşımacılık olarak belirlenerek simülasyon modelleri çalışılmıştır.

Çizelge 5.7 : Kapasite oranına göre kapasite planlama politikaları.

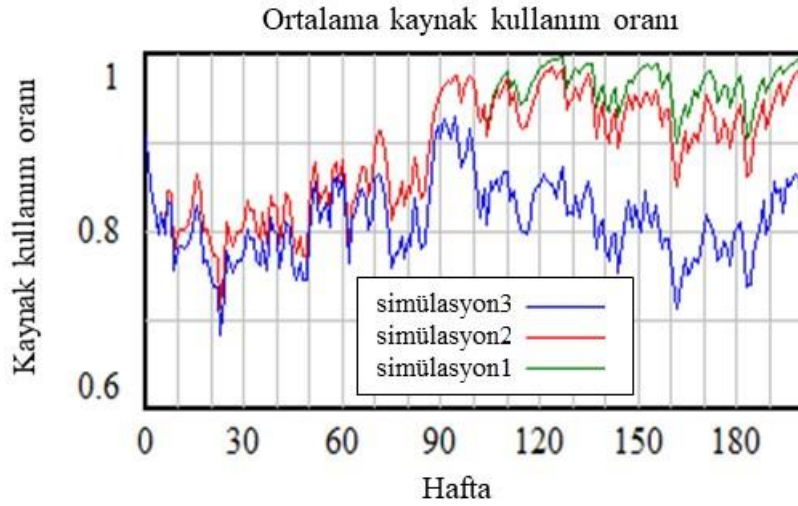
Parametreler/ Simülasyon (Kapasite politikaları)	Simülasyon 1 (Geriden takip/düşük)	Simülasyon 2 (Eşleşen/ortalama)	Simülasyon 3 (Liderlik/yüksek)
Hedef kapasite oranı	%80	%100	%120
Hedef kaynak kullanım oranı	%75	%75	%75
Sipariş lotu	30	30	30
Küçülme oranı	%1	%1	%1
Taşıma stratejisi	LTL	LTL	LTL
Minimum sevkiyat sayısı	-	-	-
Hedef hizmet seviyesi	%90	%90	%90

Şekil 5.34’de görüldüğü üzere; talepteki artış trendine rağmen tanımlı başlangıç konteyner miktarı düşük kapasite politikası uygulamasında yeterli olup yatırım ihtiyacı oluşmaz iken; eşleşen kapasite politikasında konteyner sayısı zamanla 880 seviyelerine çıkmıştır. Kapasite liderliği politikasında ise konteyner sayısı 1054’e kadar çıkmıştır. Filo büyümesinin fazla olması sebebiyle kaynak verimsizliğine yol açtığı için daha sonra bir miktar konteyner elden çıkarılmıştır. Filo küçülme ve filo büyüme politikalarına göre konteyner filo büyüklüğü değişimleri Şekil 5.34.’de sunulmuştur.



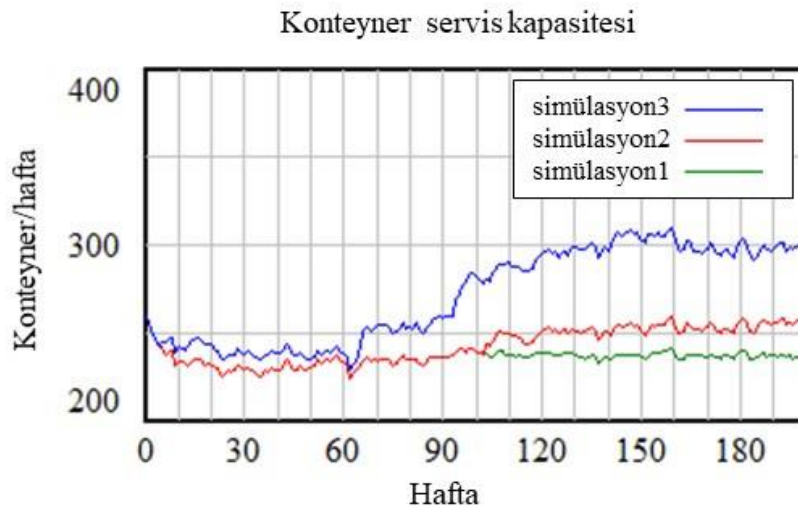
Şekil 5.34 : Konteyner filo büyüklüğü değişimi (simülasyon 1-2-3).

Ortalama kaynak kullanım oranlarındaki değişim incelendiğinde (Şekil 5.35) ilk iki simülasyon modeldeki oranlar filo büyüklüğü ile benzer bir şekilde birbirine yakın seyretmekte ve beklendiği üzere yüksek olmaktadır, fakat üçüncü modelde bu oran diğerlerine göre yaklaşık %8 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Filo büyüklüğünün artması, atıl kapasitenin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.



Şekil 5.35 : Kaynak kullanım oranı değişimi (simülasyon 1-2-3).

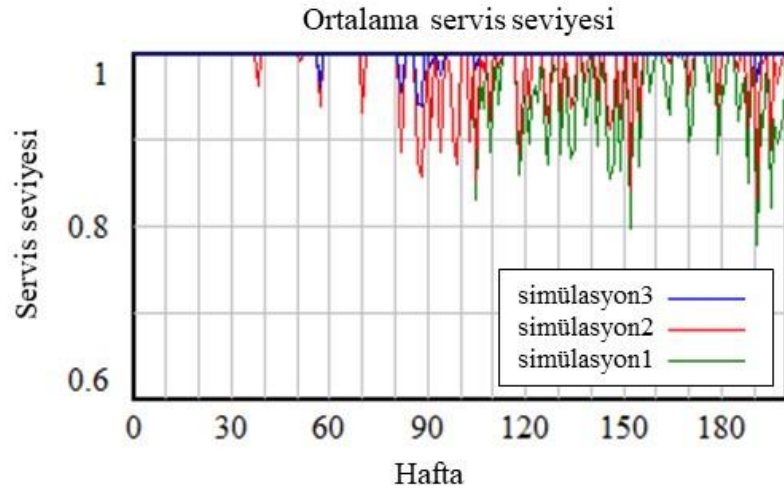
Kapasite liderliği ve eşleşen kapasite politika uygulamalarında, filo büyüklüğünün artmasına paralel olarak konteyner servis kapasitesi de beklendiği gibi artmıştır (Şekil 5.36). Filo büyüklüğü model 3'te, model 1'e göre %14, konteyner servis kapasitesi seviyesi de % 15 daha fazla olmuştur. Çünkü filo büyüklüğünün artması, aşağıda da bahsedileceği üzere müşteri hizmet seviyesine bağlı olarak sipariş miktarlarının artmasını sağlamıştır. Böylece sevkiyat sıklığı da artmıştır. Bunun sonucu olarak konteyner çevrim süresinin kısalmış ve konteyner servis kapasitesi belirli bir seviye yükselmiştir.



Şekil 5.36 : Konteyner servis kapasitesi değişimi (simülasyon 1-2-3).

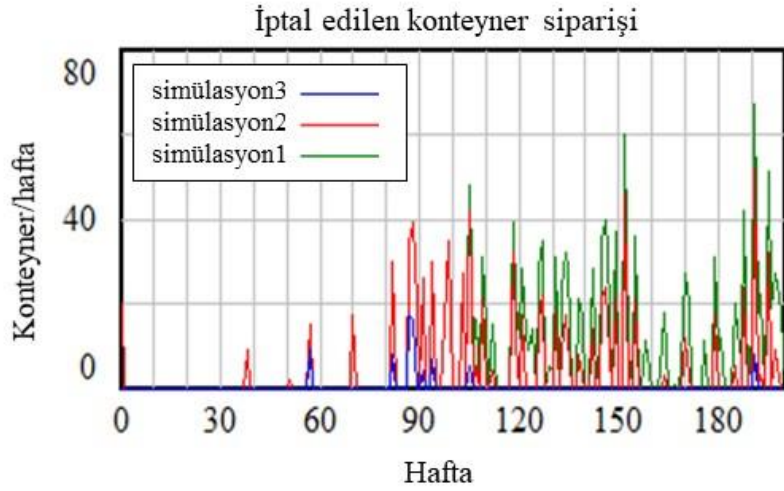
Kapasite liderliği ve eşleşen kapasite politika uygulamalarında, konteyner servis kapasite seviyesindeki artışlar ile birlikte müşteri sipariş karşılama oranı yükselmiş

ve buna paralel olarak ortalama servis seviyesi sırası ile %97'den %98.4 ve %99.9 seviyelerine yükselmiştir (Şekil 5.37).



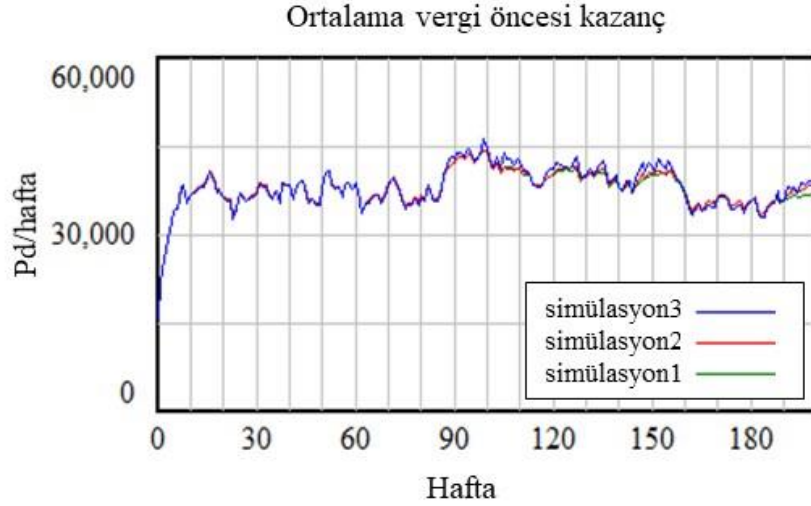
Şekil 5.37 : Ortalama servis seviyesi (simülasyon 1-2-3).

Özellikle kapasite liderliği politikası uygulaması, ortalama servis seviyesini yükseltmiş ve müşteriler tarafından iptal edilen konteyner sayısını azaltarak satış kayıplarının düşmesini sağlamıştır (Şekil 5.38).



Şekil 5.38 : İptal edilen konteyner siparişleri (simülasyon 1-2-3).

Kaynak kullanım oranı açısından önden giden kapasite politikasının diğer politikalara göre daha az verimli olduğu gözükse de finansal performans açısından daha avantajlı olduğu gözlenmiştir. Özellikle müşteri siparişinin karşılanma oranı yükseldiği için satış kaybının az olması kazancın daha yüksek olmasını sağlamıştır (Şekil 5.39).



Şekil 5.39 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 1-2-3).

Çizelge 5.8’de yukarıda paylaşılan, farklı hedef kapasite oranına sahip simülasyon modellerinin sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 5.8 : Simülasyon 1-2-3 sonuçları.

Değişkenler	İstatistik	Simülasyon 1	Simülasyon 2	Simülasyon 3
Konteyner filo büyüklüğü (Konteyner/hafta)	Ortalama	840	857	956
	Min	838	839	850
	Max	850	880	1054
	St Sap.	3.7	16.1	74.1
Ortalama Kaynak Kullanım Oranı	Ortalama	0.90	0.91	0.81
	Min	0.71	0.71	0.68
	Max	1.00	0.98	0.98
	St Sap.	0.07	0.06	0.04
Ortalama servis seviyesi	Ortalama	0.97	0.98	1.00
	Min	0.78	0.83	0.94
	Max	1.00	1.00	1.00
	St Sap.	0.05	0.04	0.01
Konteyner sipariş iptali (Konteyner/hafta)	Ortalama	8.05	4.49	0.37
	Min	0.00	0.00	0.00
	Max	67.00	52.00	17.00
	St Sap.	13.43	9.93	2.02
Konteyner servis kapasitesi (Konteyner/hafta)	Ortalama	236	243	272
	Min	224	224	229
	Max	260	260	310
	St Sap.	4.43	10.23	26.77
Sevkiyat sayısı (Sevkiyat/hafta)	Ortalama	4.8	5.0	5.1
	Min	3.0	3.0	3.0
	Max	5.0	6.0	7.0
	St Sap.	0.5	0.7	0.8
Vergi öncesi kazanç (Pb/hafta)	Ortalama	38,033	38,173	38,346
	Min	22,945	22,945	22,803
	Max	48,243	48,243	52,544
	St Sap.	4464	4583	5489

Birinci senaryo grubu çalışmaları kapsamında çalıştırılan simülasyon modelleri arasında finansal performansı en iyi kapasite planlama politikası, önden giden

kapasite politikası olması dolayısıyla; bir sonraki senaryo grubu çalışmalarında geliştirilen senaryolar, bu kapasite planlama politikası referans alınarak türetilmiş ve taşıma politikalarının etkisi analiz edilmiştir.

5.5.1.2 Taşıma politikalarının etkisinin analizi

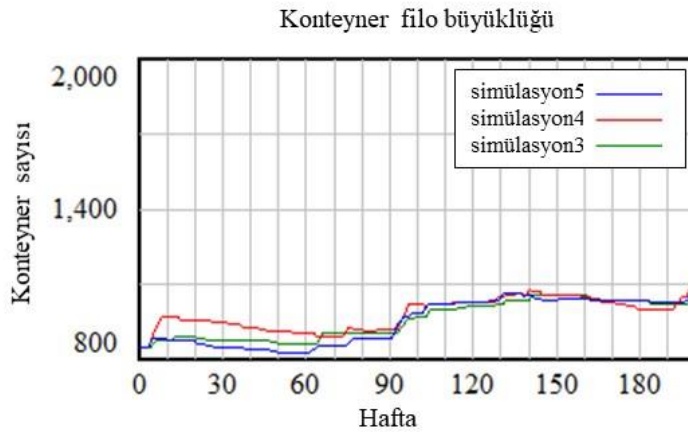
Taşıma politika tercihleri, konteyner çevrim süresini etkilemesi dolayısıyla operasyonel maliyetler ile birlikte filo büyüme ve küçülme kararları üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Bu sebeple bu senaryo grubunda, konteyner sevkiyat sürecinde verimlilik ve hızlı cevap verme stratejilerini destekleyen geç sevkiyat ve erken sevkiyat politika uygulamalarının, kapasite planlama süreci ve sistem davranışına etkileri incelenmiştir. Bu politikaların yanında, minimum sevkiyat sayısını içerecek şekilde hibrid bir sevkiyat politikası da ilgili senaryo çalışmasına eklenmiş ve bu politikalar finansal performans açısından kıyaslanmıştır.

Konteyner servis sağlayıcılar, müşteriye hızlı cevap vermek amacıyla müşteriden gelen siparişleri sevkiyat kamyonlarını tam olarak dolmasını bekletmeden, kısmi yük (Less truck load) taşımacılığı ile sevke hazır hale getirip gönderebildikleri gibi; taşıma verimsizliğine yol açmamak için tır doluluğunu sağlamak amacıyla siparişi tam kamyon doluluğu sağlanana kadar bekletip, tam tır yük (Full truck load) taşımacılığı ile sevk edebilmektedir. Bu iki taşımacılık tipi de sektörde yaygın bir şekilde kullanılabilmektedir. Ayrıca, müşteri ile servis sağlayıcılar arasındaki anlaşma koşullarına bağlı olarak minimum sefer politikası da uygulanabilmektedir. Bu politika uygulamasında müşteri konteyner siparişin karşılanması için, ilgili zaman aralığında tam kamyon yük sağlansın ya da sağlanmasın, sevkiyatlar en az tarifli minimum sefer sayısı ile gönderim yapılır. Diğer bir ifade ile talep edilen konteyner adedi, minimum sefer miktarının altında bir yüke karşılık gelse dahi planlı minimum sevkiyat gerçekleştirilir. Talep edilen konteyner adedi, minimum sefer miktarının üstünde bir yüke karşılık gelirse, verimlilik açısından tam kamyon yük olacak şekilde sevk planlaması yapılır. Yüksek kapasite politika uygulaması altında erken sevkiyat, geç sevkiyat ve hibrid taşıma politikalarının finansal performansları; 3, 4 ve 5. simülasyon modelleri yardımıyla incelenmiştir. Taşıma politikasının etkisinin görülmesi için sevkiyat politikası hariç diğer tüm parametre değerleri, ilk senaryo grubundaki finansal performans açısından baskın model olan simülasyon 3 parametre değerleri ile aynı alınmıştır (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9 : Taşıma politikalarına göre kapasite planlama politikaları.

	Simülasyon 3	Simülasyon 4	Simülasyon 5
Kapasite politikası:	Fazla kapasite	Fazla kapasite	Fazla kapasite
Taşıma politikası:	Erken sevkiyat	Geç sevkiyat	Hibrid sevkiyat
Hedef kapasite oranı	%120	%120	%120
Hedef KKO	%75	%75	%75
Sipariş lotu	30	30	30
Küçülme oranı	%1	%1	%1
Taşıma stratejisi	LTL	FTL	Maks(FTL,5)
Minimum sevkiyat sayısı	-	-	5
Hedef hizmet seviyesi	%90	%90	%90

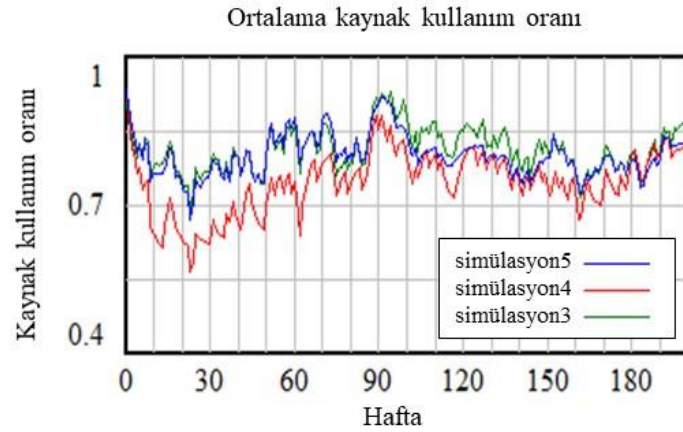
Verimliliğin hedeflendiği geç sevkiyat politikasında, konteyner sevkiyatları tam kamyon yük doluluğu sağlanana kadar bekletildiği için sevkiyat sıklığı azalacak, depoda sevke hazır dolu boş konteyner bekleme süresi uzayacaktır. Ayrıca boş konteyner geri toplama sürecinde sevkiyat sıklığının azalması da ana sanayideki boş konteyner bekleme süresini artıracaktır. Dolayısıyla konteyner servis kapasitesinin temel girdilerinden biri olan toplam konteyner çevrim süresi uzayacaktır. Konteyner çevrim süresinin uzaması ile birlikte konteyner ihtiyacı artacağı için 4. simülasyon modelinde de görüldüğü üzere daha fazla sayıda konteyner yatırımının yapılmasına ihtiyaç duyulacaktır (Şekil 5.40). Zaman içerisinde talebin yükselmesi ile birlikte filo büyüklükleri sevkiyat sayısının da artması ile birlikte benzer seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 5.40 : Konteyner filo büyüklüğü değişimi (simülasyon 3-4-5).

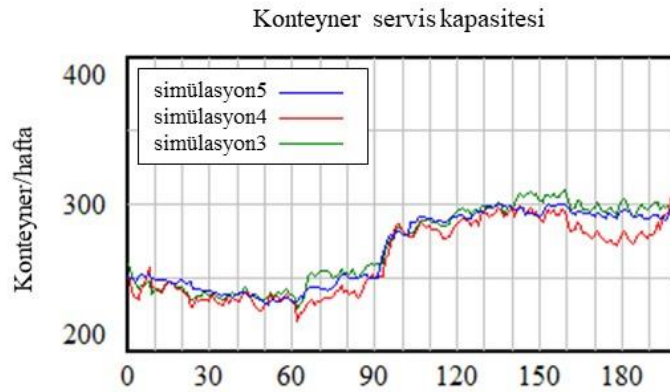
Hibrid taşıma politikasında farklı minimum sefer sayıları ile simülasyon çalışmaları tekrarlanmış, ancak minimum sefer sayısının 5 olduğu durumda finansal açıdan kazancın daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sebeple minimum sefer sayısının 5 olduğu model sonuçları paylaşılmıştır. Filo büyüklüğü değişimi açısından zaman boyutunda hibrid sevkiyat politikası ile erken sevkiyat politikası benzer davranış sergilemiştir.

Geç sevkiyat politikasındaki filo artış oranı, ortalama kaynak kullanımı oranının düşmesine sebep olmuştur. Zaman içerisinde müşteri sipariş miktarının artması ile birlikte, ilgili performans göstergesi diğer taşıma politikalarına yaklaşıp da verimliliğinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Hidrid sevkiyat politikası uygulamasında ortalama kaynak kullanım oranı, başlangıçta erken sevkiyat politikası uygulaması ile paralellik gösterse de; artan sipariş miktarı ile birlikte, taşıma verimliliği için sefer sayısının daha az olmasından dolayı ortalama kaynak kullanım oranının daha düşük seyretmesine sebep olmuştur (Şekil 5.41).



Şekil 5.41 : Ortalama kaynak kullanım oranı değişimi (simülasyon 3-4-5)

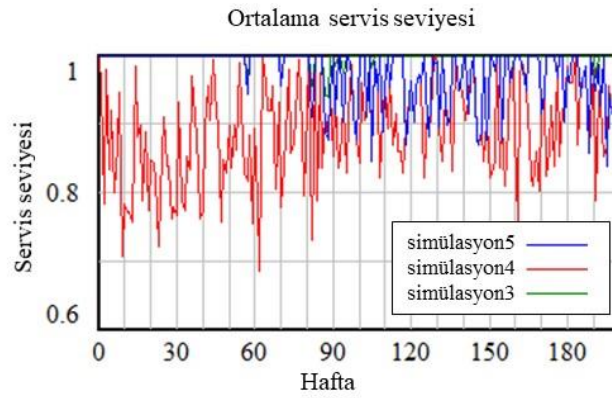
Konteyner servis kapasite değişimleri incelendiğinde; FTL taşımacılık uygulaması, hibrid ve LTL taşımacılık politikalarına göre filonun daha fazla büyümesine yol açsa da; toplam konteyner çevrim süresinin uzaması sebebiyle konteyner servis kapasitesi daha düşük seviyede bir davranış sergilemiştir (Şekil 5.42).



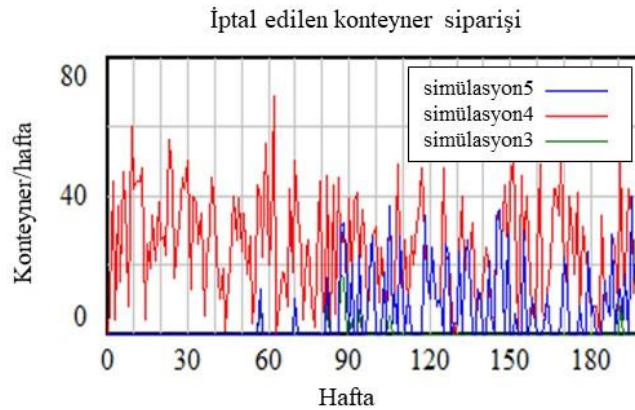
Şekil 5.42 : Konteyner servis kapasitesi değişimi (simülasyon 3-4-5).

LTL taşımacılık politikasında ise ortalama sefer sayısı, hibrid taşımacılığa göre bir miktar yüksek olduğu için konteyner servis kapasite değeri daha yüksek seviyede olmuştur.

Tam yük taşımacılık sefer planlamasında müşteri siparişlerinin tam kamyon yük oluşturana kadar bekletildiği için müşteri sipariş karşılama oranı düşmüş ve bu durum bakiye sipariş sayısının artmasına yol açarak ortalama servis seviyesini düşürmüştür. Ortalama servis seviyesinin %89 seviyelerine düşmesi ise satış kaybına yol açmıştır. Hibrid sevkiyat politika uygulamasında ise servis seviyesi %97.7 seviyelerinde olup, kısmi yük taşımacılık politika uygulamasındaki servis seviyesine yaklaşmıştır. Ancak yine de en yüksek ortalama servis seviyesi, beklendiği üzere kısmi yük taşımacılık politikasında gerçekleşmiştir. Ortalama servis seviyesi ve iptal edilen konteyner sipariş sayısındaki değişimler sırasıyla Şekil 5.43 ve Şekil 5.44’de gösterilmiştir.



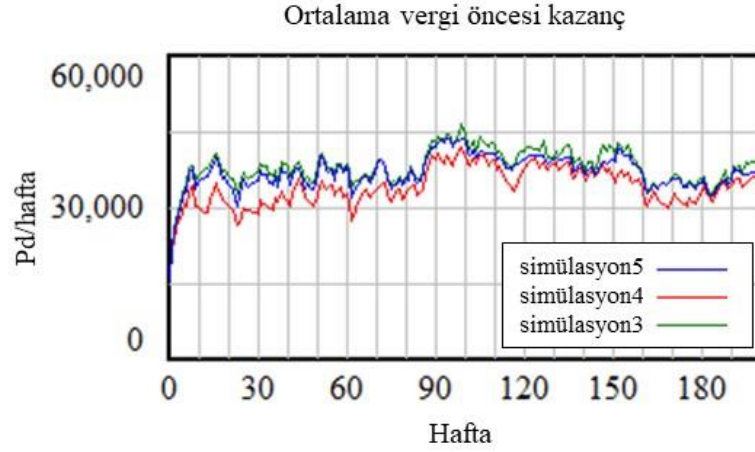
Şekil 5.43 : Ortalama servis seviyesi (simülasyon 3-4-5).



Şekil 5.44 : İptal edilen konteyner siparişi (simülasyon 3-4-5).

Taşıma politikalarının finansal performans sonuçlarına nasıl yansıdığı incelendiğinde; geç sevkiyat politika uygulamasında konteyner başı taşıma

maliyetleri azalmasına rağmen filo yatırım maliyetinin artışı ve satış kaybının yol açtığı etki yüzünden vergi öncesi kazanç değeri, model 3'e göre yaklaşık %10 daha düşük bir değere sahiptir. Hibrid taşıma politikasında ise kazanç erken seviyat politika uygulamasına göre %3 daha azdır (Şekil 5.45). Çizelge 5.10'da farklı taşıma politikalarına ait simülasyon modellerinin sonuçları sunulmuştur.



Şekil 5.45 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 3-4-5).

Çizelge 5.10 : Simülasyon 3-4-5 sonuçları.

Değişkenler	İstatistik	Simülasyonlar		
		3	4	5
Konteyner filo büyüklüğü (Konteyner/hafta)	Ortalama	956	981	950
	Min	850	850	824
	Max	1054	1081	1084
	St Sap.	74.1	61.2	89.0
Ortalama Kaynak Kullanım Oranı	Ortalama	0.81	0.75	0.80
	Min	0.68	0.56	0.67
	Max	0.98	0.93	0.93
	St Sap.	0.04	0.06	0.04
Ortalama servis seviyesi	Ortalama	1.00	0.89	0.98
	Min	0.94	0.69	0.84
	Max	1.00	1.00	1.00
	St Sap.	0.01	0.07	0.04
Konteyner sipariş iptali (Konteyner/hafta)	Ortalama	0.37	24.41	5.67
	Min	0.00	0.00	0.00
	Max	17.00	69.00	40.00
	St Sap.	2.02	14.99	9.79
Konteyner servis kapasitesi (Konteyner/hafta)	Ortalama	272	263	270
	Min	229	221	232
	Max	310	305	309
	St Sap.	26.77	24.85	25.17
Sevkiyat sayısı (Sevkiyat/hafta)	Ortalama	5.1	4.1	5.0
	Min	3.0	2.0	5.0
	Max	7.0	5.0	6.0
	St Sap.	0.8	0.8	0.1
Vergi öncesi kazanç (Pb/hafta)	Ortalama	38,346	34,307	37,210
	Min	22,803	16,203	18,814
	Max	52,544	45,281	49,411
	St Sap.	5489	5680	5333

5.5.1.3 Değişime tepki hızının etkisinin analizi

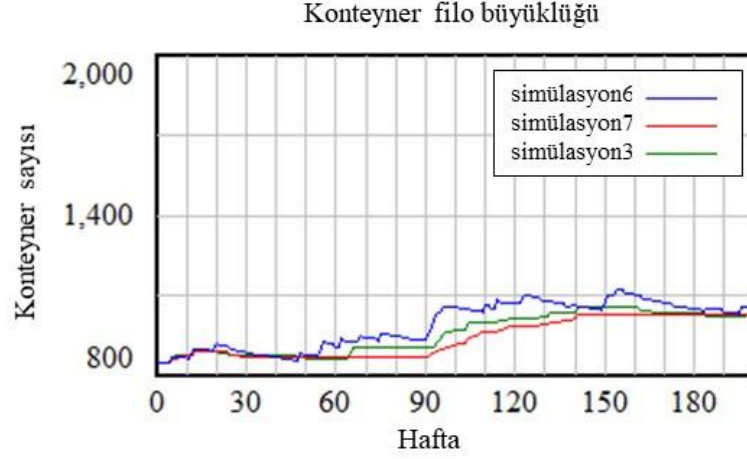
İşletmeler, kapasite planlama politikalarını uygularken, geçmiş talep ve stok gözden geçirme periyodu, bilgi gecikmesi vb. sebepler dolayısıyla değişime karşı farklı tepki hızlarına sahiptir. Bazı işletmeler değişime karşı yüksek duyarlılığa sahip olup daha hızlı ve radikal bir şekilde aksiyon alma ya da daha kısa bir vadeye göre planlama tercihinde bulunurken; bazıları ise daha düşük duyarlılığa sahip olup, değişimi daha uzun bir dönemi izleyerek ilgili kapasite planlama politikalarını işletir.

3. senaryo grubu kapsamında da kapasite ve taşıma planlama politikalarının, değişime karşı farklı duyarlılık seviyelerinde uygulanmasının etkilerini kıyaslamak için geçmiş talep ve performans gözden geçirme periyotlarını içeren parametreler farklılaştırılarak incelenmiştir. 6. ve 7. Simülasyon modelleri bir önceki senaryo analizinde finansal performans açısından yüksek çıkan simülasyon modelinden türetilmiş ve kıyaslanmıştır. İlgili senaryo analizi çalışmalarında kullanılan parametre değerleri Çizelge 5.11’de paylaşılmıştır.

Çizelge 5.11 : Farklı tepki hızlarına göre kapasite planlama politikaları.

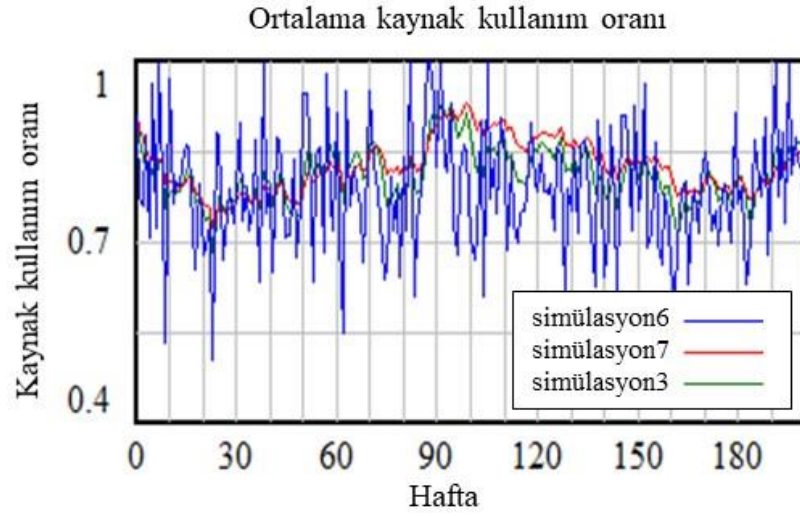
	Simülasyon 3	Simülasyon 6	Simülasyon 7
Filo planlama stratejisi:	Liderlik	Liderlik	Liderlik
Taşıma stratejisi:	Erken sevkiyat	Erken sevkiyat	Erken sevkiyat
Hedef kapasite oranı	%120	%120	%120
Hedef KKO	%75	%75	%75
Sipariş lotu	20	20	20
Küçülme oranı	%1	%1	%1
Taşıma stratejisi	LTL	LTL	LTL
Minimum sevkiyat sayısı	-	-	5
Hedef hizmet seviyesi	%90	%90	%90
Ölçüm süresi	4	1	8

Kısa zaman periyodu ya da algılama süresine sahip simülasyon 6, talep dalgalanmasından daha hassas bir şekilde etkilendiği için filo büyüklüğü davranışında sıçramalı artış ve azalışlar gözlemlenmiştir. Çünkü değişime karşı filo büyüme ve küçülme kararları daha hızlı bir şekilde uygulanmıştır. Ancak simülasyon 7 ise talep öngörüsü daha uzun bir vade dikkate alınarak yapıldığı için filo planlamasındaki davranış, daha düşük bir hızla gerçekleşmiştir (Şekil 5.46).



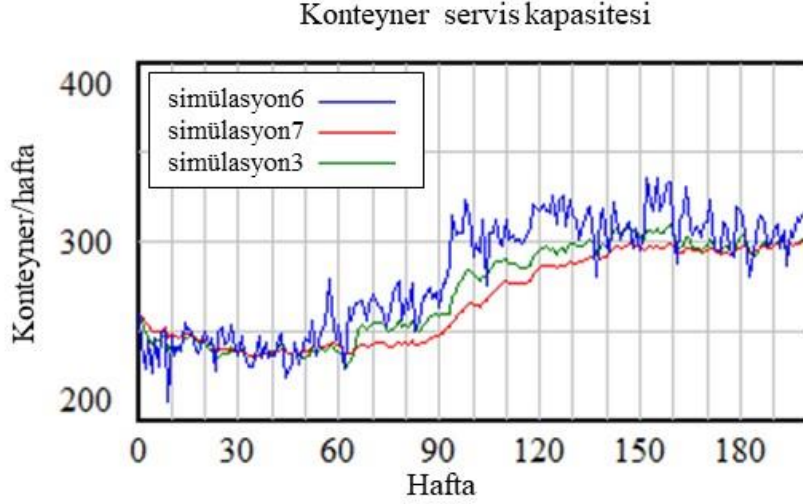
Şekil 5.46 : Konteyner filo büyüklüğü değişimi (simülasyon 3-6-7).

Filo büyüklüğündeki artış ve azalış hızının trendleri dikkate alındığında beklendiği gibi; talebin artış trendinin olduğu ortamda düşük duyarlılığa sahip, yüksek kapasite ve erken sevkiyat politika kümesi uygulaması ortalama kaynak kullanım oranının daha yüksek çıkmasını sağlamıştır (Şekil 5.47).



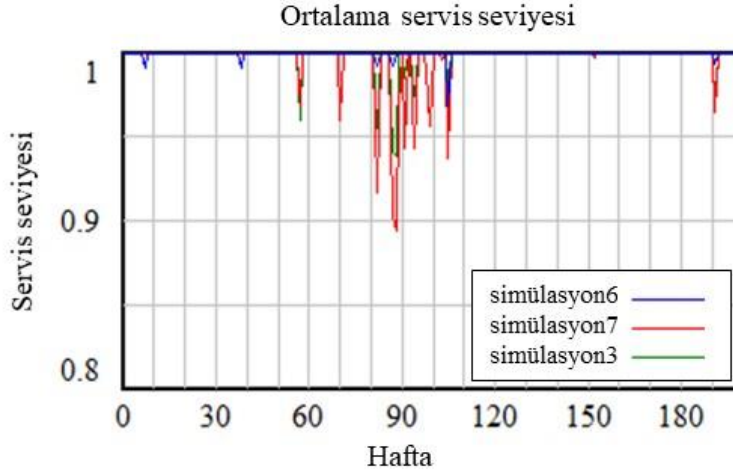
Şekil 5.47 : Ortalama KKO değişimi (simülasyon 3-6-7).

Konteyner servis kapasitesi, müşteri talebindeki artışa bağlı artan filo büyüklüğü ile paralel olarak artma eğilimindedir (Şekil 5.48). Simülasyon koşu süresi dikkate alındığında ortalama konteyner servis kapasitesi; model 3'e göre model 6'da %3.4 daha fazla, model 7'de %1.7 daha az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.48 : Konteyner servis kapasitesi değişimi (simülasyon 3-6-7).

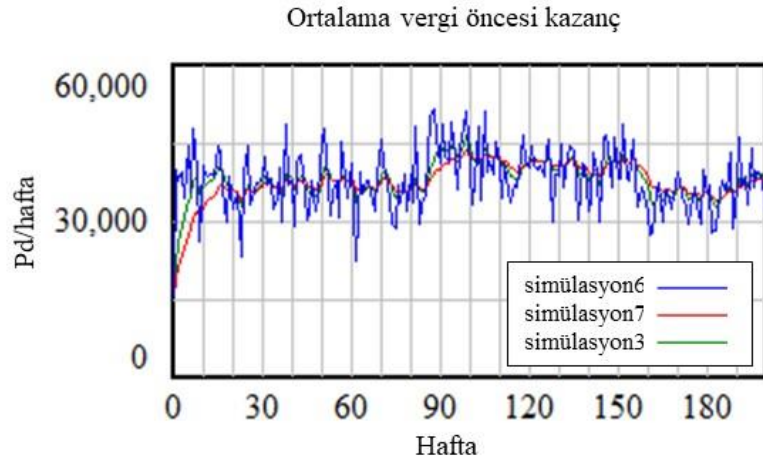
Konteyner servis kapasitesindeki bu değişimler, simülasyon 3-6-7 modelleri için ortalama servis seviyesinin sırasıyla %99.7, %99.9, %99.7 seviyelerinde olmasına neden olmuştur (Şekil 5.49). Yukarıda da bahsedildiği üzere; değişime karşı hızlı aksiyon müşteri sipariş karşılama oranını ve ortalama servis seviyesini artırmış, müşteri tarafından daha az sayıda konteyner siparişi iptal edilmiştir. Kapasite planlama sürecinde duyarlılığın düşük olması, az da olsa müşteri memnuniyetsizliğini artmasına sebep olmuştur.



Şekil 5.49 : Ortalama servis seviyesi (simülasyon 3-6-7).

Değişime karşı farklı tepki hızlarına sahip kapasite ve taşıma politika kümesi uygulamalarının finansal etkilerine bakıldığında; değişime karşı hızlı tepki hızına sahip politika kümesi uygulamaları, maliyetlerin bir miktar yükselmesine sebep olarak kazancı düşürmüştür (Şekil 5.50). Düşük tepki hızına sahip politika

uygulamalarındaki ortalama kazanç, orta tepki hızına sahip politika uygulamalarındaki kazançtan bir miktar fazla olmasına karşın yakın bir değerdedir.



Şekil 5.50 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 3-6-7).

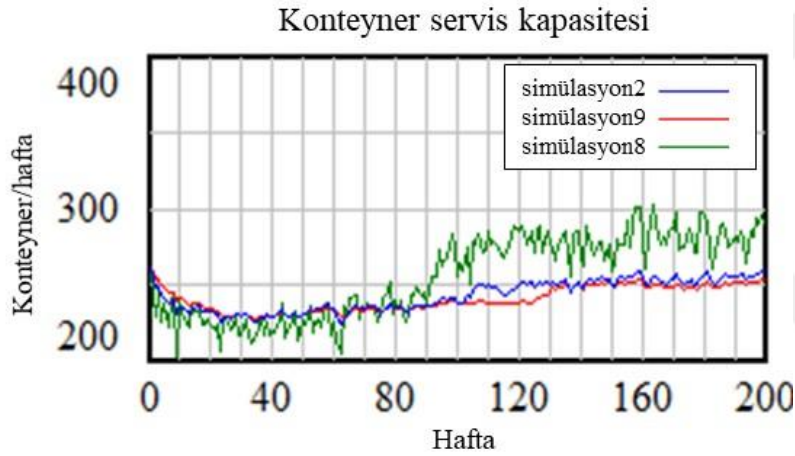
Çizelge 5.12.'de değişime karşı farklı tepki hızlarına ya da farklı gözden geçirme periyotlarına sahip simülasyon modellerinin sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 5.12 : Simülasyon 3-6-7 sonuçları.

Değişkenler	İstatistik	Simülasyonlar		
		3	6	7
Konteyner filo büyüklüğü (Konteyner/hafta)	Ortalama	956	989	939
	Min	850	850	850
	Max	1054	1120	1025
	St Sap.	74.1	86.2	68.9
Ortalama Kaynak Kullanım Oranı	Ortalama	0.81	0.79	0.83
	Min	0.68	0.50	0.72
	Max	0.98	1.00	0.93
	St Sap.	0.04	0.10	0.04
Ortalama servis seviyesi	Ortalama	1.00	1.00	1.00
	Min	0.94	0.97	0.89
	Max	1.00	1.00	1.00
	St Sap.	0.01	0.00	0.01
Konteyner sipariş iptali (Konteyner/hafta)	Ortalama	0.37	0.09	0.79
	Min	0.00	0.00	0.00
	Max	17.00	8.00	27.00
	St Sap.	2.02	0.66	3.53
Konteyner servis kapasitesi (Konteyner/hafta)	Ortalama	272	281	267
	Min	229	210	235
	Max	310	336	300
	St Sap.	26.77	291.90	264.56
Sevkiyat sayısı (Sevkiyat/hafta)	Ortalama	5.1	5.1	5.1
	Min	3.0	3.0	3.0
	Max	7.0	7.0	7.0
	St Sap.	0.8	0.8	0.8
Vergi öncesi kazanç (Pb/hafta)	Ortalama	38,346	37,936	38,357
	Min	22,803	22,356	22,771
	Max	52,544	51,340	49,666
	St Sap.	5489	5580	5314

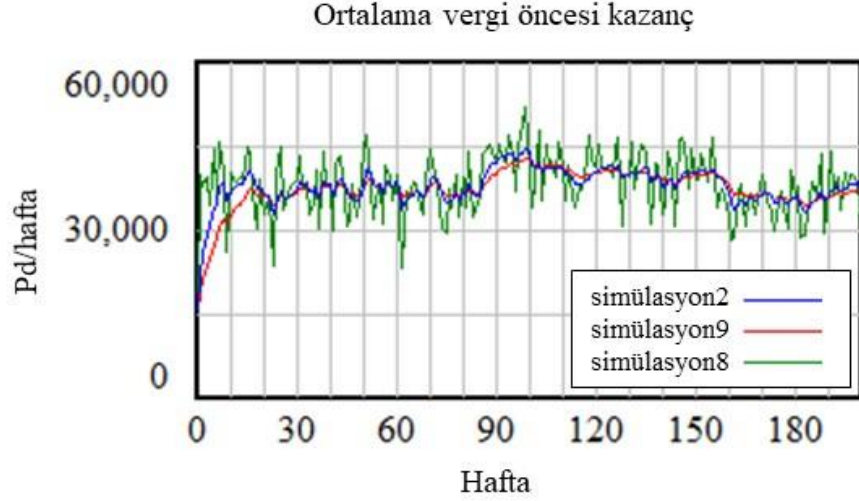
Yukarıda analiz edilen farklı tepki hızlarına sahip yüksek kapasite ve erken sevkiyat politika kümesi uygulamasındaki ile benzer şekilde; ortalama kapasite politikası için farklı tepki hızlarının sistem davranışını nasıl etkileyeceğinin incelenmesi için yeni simülasyon modelleri çalıştırılmıştır. Simülasyon modelleri; filo büyüklüğü, ortalama kaynak kullanım oranı, ortalama servis seviyesi göstergeleri açısından yüksek kapasite planlama politikasındaki davranışlar ile benzer bir davranış göstermesine rağmen finansal açıdan bakıldığında, kazanç sıralaması simülasyon 8>simülasyon 2>simülasyon 9 şeklindedir.

Ortlama kapasite politikası uygulaması altında farklı tepki hızlarına ait simülasyon modelinin davranışı Şekil 5.51’de paylaşılmıştır.



Şekil 5.51 : Ortalama KKO değişimi (simülasyon 2-8-9).

Farklı tepki hızına sahip yüksek kapasite politika uygulamalarından farklı olarak ortalama kapasite politikası uygulamasında yüksek tepki hızı, kazancın daha yüksek çıkmasını sağlamıştır (Şekil 5.52). Bu farklılık daha iyi sonuç elde etmek için parametre iyileştirme çalışmalarının yapılabileceğini göstermiştir. Bu sebeple, ilgili politika kümesi üzerinde bir sonraki alt bölümde kazancı iyileştirmeye yönelik parametre iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 5.52 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 2-8-9).

5.5.2 Politika iyileştirme çalışmaları

İteratif bir şekilde yapılan senaryo analizlerinde finansal açıdan en yüksek kazancı sağlayan politika kümesi üzerinden yeni simülasyon çalışmaları ile parametre değerleri iyileştirme çalışmaları yürütülmüştür. Bu alt bölümde öncelikle senaryo analizlerinde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, daha yüksek kazanç sağlayacak politika kümesi parametre setlerinin belirlenmesinde izlenen süreç paylaşılmıştır.

Senaryo analizleri kapsamında konteyner taşıma zinciri faaliyetlerini yürüten konteyner servis sağlayıcısının finansal performansını iyileştirilmesi amacıyla kapasite planlama, taşıma planlama ve tepki hızlarını içeren politika kümeleri sistem dinamiği modellemesi yardımıyla benzetimi yapılmış ve sistem davranışları incelenerek kıyaslanmıştır. Kazancı en üst seviyeye çıkaracak politika kümesinin elde edilmesi için kazanç artışı sağlayan politika kümeleri referans alınarak kapasite, taşıma planlama ve tepki hızı ile ilgili bir takım parametreler kademeli olarak değiştirilerek simülasyon modelleri yardımıyla senaryo analizleri gerçekleştirilmiştir.

Birinci senaryo grubunu oluşturan, farklı kapasite politikalarını içeren senaryo analizleri değerlendirildiğinde; kaynak verimliliğine hizmet eden düşük kapasite politikası uygulamasının, konteyner bulunurluk seviyesi ve buna bağlı müşteri servis seviyesinde düşüşe sebep olması, diğer kapasite politika uygulamalarına göre işletme finansal performansının daha düşük seviyede olmasına sebep olmuştur.

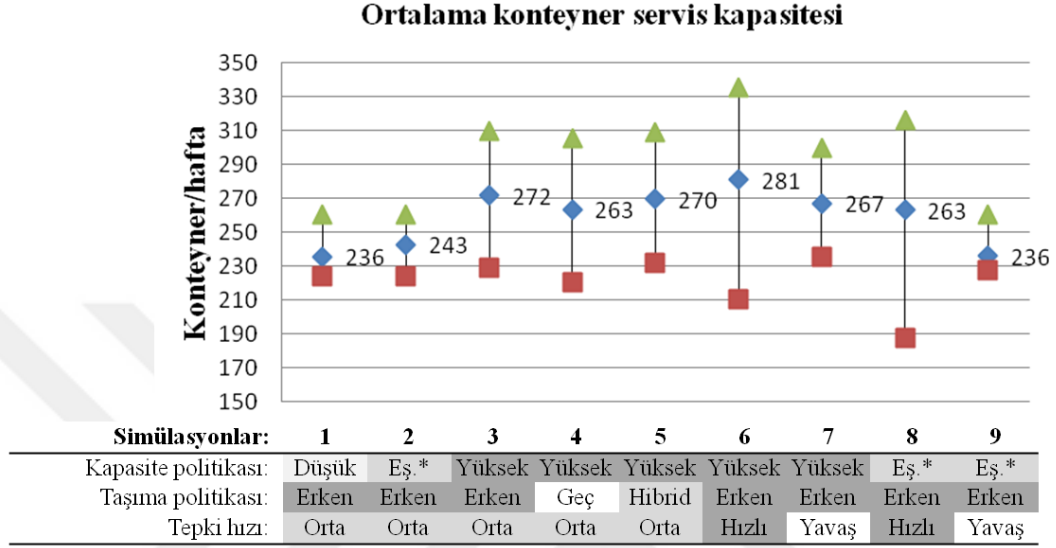
İkinci senaryo grubunu oluşturan farkı politika uygulamalarını içeren senaryo analizleri kapsamında; yüksek kapasite politikası altında erken, geç ve hibrid sevkiyat politikalarının finansal etkisi analiz edilmiş ve bu analizler, taşıma politikasının özellikle getiri ve yatırım maliyetleri açısından çok önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle geç sevkiyat politikasını içeren simülasyon modeli 4’de, müşteri servis oranı %89 seviyelerine indirmiştir. Taşıma verimliliğine rağmen yarattığı satış kaybı ve sevkiyat döngüsünün yavaşlamasının neden olduğu yatırım maliyetlerinde artış kaynaklı kazanç seviyesinde azalma, referans modele göre %9.8 oranında olmuştur. Bununla birlikte, hibrid taşıma politikasında müşteri servis seviyesinin %98 oranına inmiş, benzer etkiler ile satış kaybı ve konteyner kaynak verimsizliği yaratarak, kazancın referans modele göre %2.2 oranında az olmasına neden olmuştur. Taşıma politikaları ile ilgili yapılan bu analiz, müşteri memnuniyetsizliği kaynaklı satış kaybının, kazanç açısından belirli seviyeye kadar taşıma verimlisizliğinden daha önemli olduğunu göstermiştir. Diğer kapasite politika uygulamalarında da geç ve hibrid sevkiyat politikası, kazanç seviyesini düşürmüştür. Bu yüzden yeni politika kümeleri, erken sevkiyat politikası üzerinden oluşturulmuştur.

Farklı tepki hızlarına sahip politika kümesini içeren senaryo analiz çalışmaları kapsamında; yüksek ve eşleşen kapasite politika uygulamalarının farklı tepki hızlarında birbirinden farklı davranış sergilediği ve birbirine farklı durumlarda kazanç açısından üstünlük sağladıkları görülmüştür. Yani; yüksek kapasite oranına sahip modelin düşük tepki hızında, eşleşen kapasite oranına sahip modelin ise yüksek tepki hızında finansal performans açısından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum; elde bulundurma ve yatırım maliyetlerinde iyileştirme potansiyeli olduğu tespitinin yapılmasını sağlamıştır.

Her üç senaryo grubu altında yer alan simülasyon modellerinin ortalama konteyner servis kapasitesi ve ortalama haftalık kazanç açısından kıyaslaması Şekil 5.53 ve 5.54’de sırası ile sunulmuştur.

Yüksek kapasite ve erken sevkiyat politika kümesi, yalnızca tepki hızının yüksek olduğu durumda kazanç performansı açısından kötüleşmiştir. Bu durum da aşırı yüksek kapasite politikası altında; talepteki dalgalanma kaynaklı oluşan aşırı atıl kaynağın, müşteri sipariş karşılamada elde edilen gelirden daha fazla gidere sebep

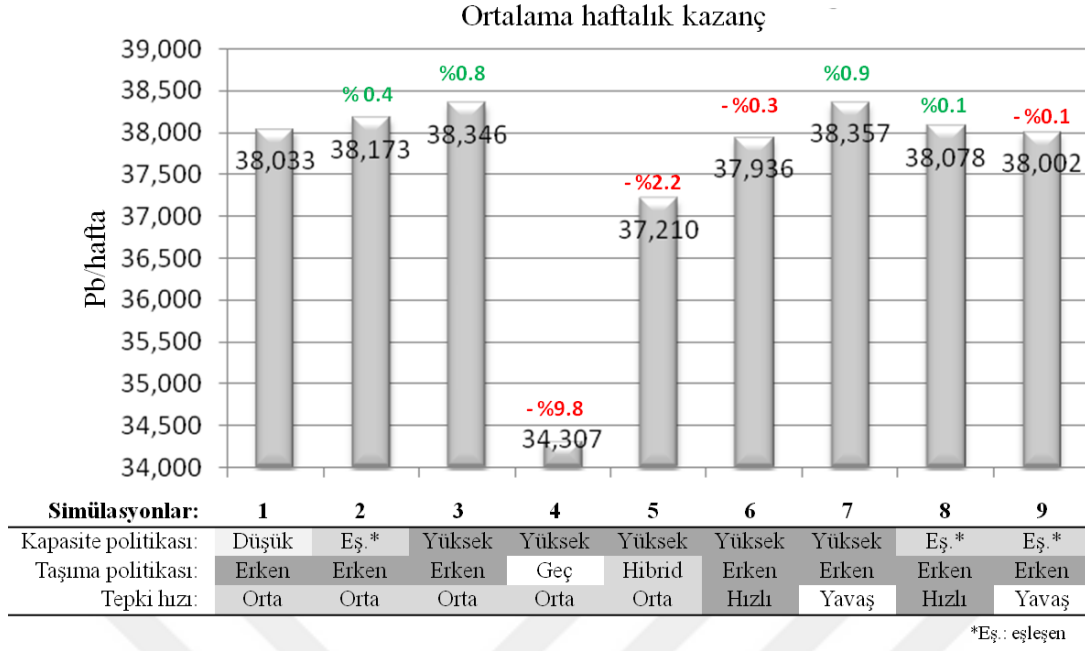
olduğu çıkarımının yapılmasını sağlamıştır. Konteyner servis kapasitesi üzerinde verimlilik fırsatı mevcuttur. Eşleşen kapasite politikasında düşük tepki hızının kazanca etkisi, bu çıkarımı doğrulamıştır. Çünkü artan müşteri talebinde eşleşen kapasite politikasında düşük tepki hızı, yüksek kapasite politikasındaki yüksek tepki hızına göre daha iyi bir sonuç vermiştir.



Şekil 5.53 : Ortalama konteyner servis kapasitesi açısından kıyaslama.

Yüksek hedef kapasite oranı ve erken sevkiyat politikasını içeren politika kümesinin, referans model olan düşük kapasite ve erken sevkiyat politika kümesini içeren modele göre yaklaşık %0.8 ile %1.2 oranında daha fazla kazanç sağladığı gözlemlenmiştir. Diğer politika kümeleri ile de kıyaslandığında, müşteri sipariş karşılama oranının yüksek olması sayesinde finansal performans açısından daha iyi bir çıktı elde edilmiştir.

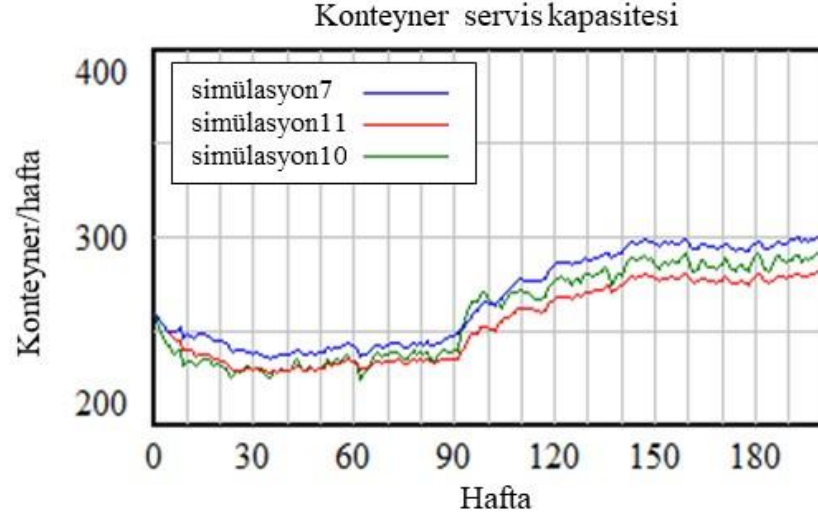
Yüksek kapasite ve erken sevkiyat politika kümesi üzerinden finansal performansı daha yüksek bir parametre setini içeren politika kümesi tespiti yapmak amacıyla, hedef kapasite oranı kademeli bir şekilde düşürülmüş ve farklı tepki hızına ait simülasyon modelleri çalıştırılmıştır. Simülasyon 7'nin hedef kapasite oranı kademeli olarak azaltılarak türetilen simülasyon 10 ve aynı zamanda tepki hızı değiştirilerek elde edilen simülasyon 11'in diğer modellerle kıyaslaması çalışmada sunulmuştur.



Şekil 5.54 : Vergi öncesi kazanç açısından kıyaslama.

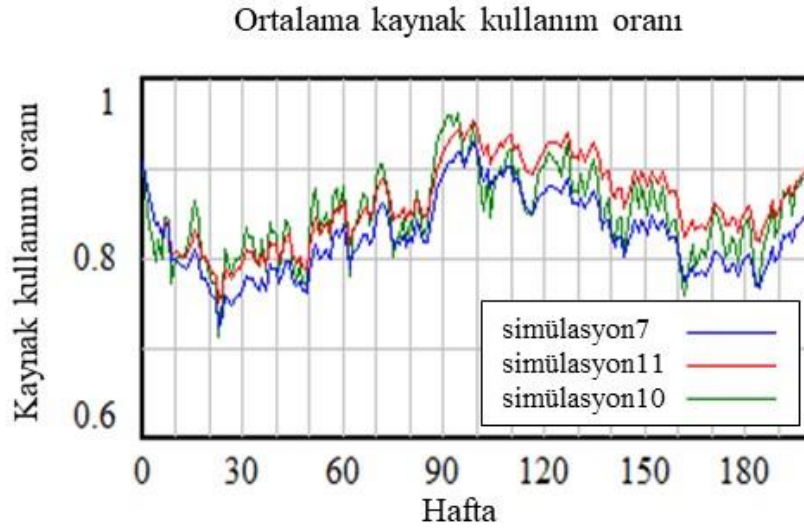
Yüksek kapasite ve erken sevkiyat politika kümesini içeren simülasyon 3 ve 7’de %120 olan hedef kapasite oranı düşürüldüğünde, konteyner filo büyüme miktarı azalarak ortalama kaynak kullanım oranı artmıştır. Hedef kapasite oranı %113 seviyelerine indirildiğinde ise verimliliğin artmasına bağlı olarak, ortalama kazancın yükseldiği gözlemlenmiştir (Simülasyon 10). Bu değer altında ise müşteri sipariş kayıpları sebebiyle ortalama kazanç düşmeye başlamıştır. Belirtilen koşullarda kazanç açısından optimuma yakın hedef kapasite oranı %113 olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında simülasyon 11’de yavaş tepki hızını içeren politika kümesinin davranışı incelenmiştir. Tepki hızı yavaş ve orta seviye olan ilgili politika kümeleri karşılaştığında orta seviye tepki hızı sahip politika kümesinin daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Hedef kapasite oranı düşürüldüğünde filo büyüme miktarı azalmış ve kaynak kullanım oranı artmıştır. Hedef kapasite oranı %113 ve orta tepki hız seviyesini içeren simülasyon 10’un konteyner servis kapasitesi, hedef kapasite değeri %113 ve düşük duyarlılık seviyesini içeren simülasyon 11’den daha yüksektir. Hedef kapasite oranı %120 ve düşük duyarlılık seviyesini içeren simülasyon modeli 7’de ise diğerlerine kıyasla konteyner servis kapasitesi daha yüksek değere sahiptir (Şekil 5.55).



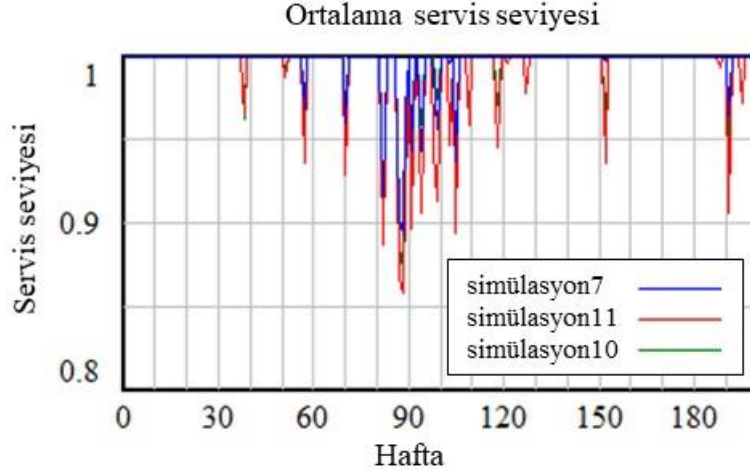
Şekil 5.55 : Konteyner servis kapasitesi değişimi (simülasyon 7-10-11).

Hedef kapasite oranının düşmesi Şekil 5.56’da da görüldüğü gibi ortalama kaynak kullanım oranının yükselmesini sağlamıştır.



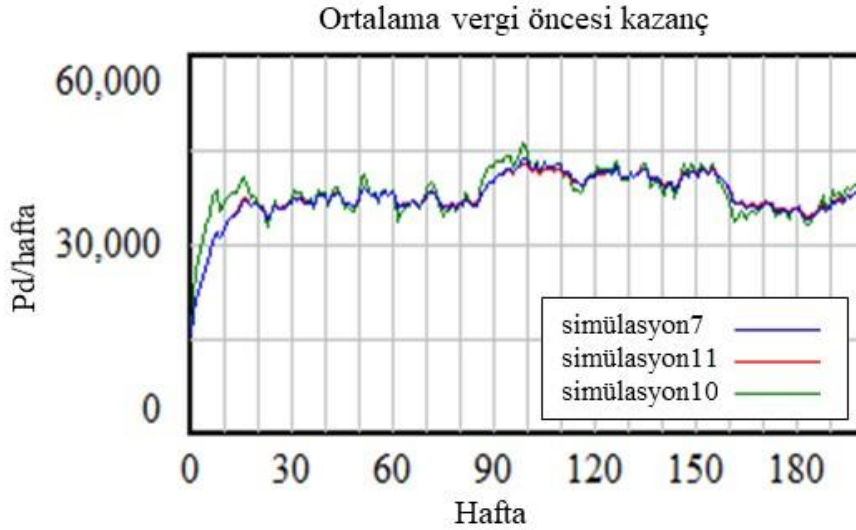
Şekil 5.56 : Ortalama kaynak kullanım oranı değişimi (simülasyon 7-10-11).

Hedef kapasite oranının düşürülmesi müşteri sipariş karşılama oranını az miktarda da olsa düşürmüştü; simülasyon 7’deki %99.7’lik ortalama servis seviyesi, model 10 ve 11’de sırasıyla %99.7 ve %99.5 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.57). Talep artış miktarının olduğu dönemde, orta duyarlılık seviyesi düşük duyarlılık seviyesine göre daha hızlı bir kapasite artışı sağlayarak, müşteri sipariş karşılama oranının yüksek olmasını sağlamıştır.



Şekil 5.57 : Ortalama servis seviyesi değişimi (simülasyon 7-10-11).

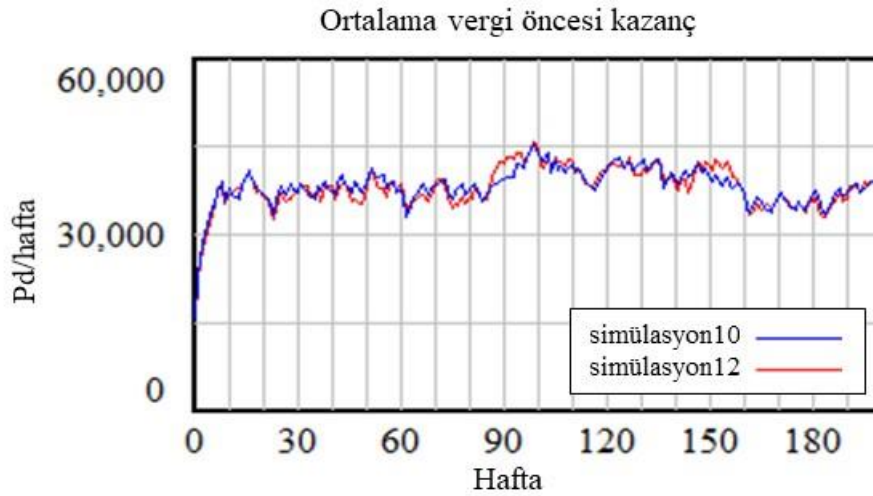
İlgili konteyner servis kapasiteleri ile birlikte simülasyon 7 ve simülasyon 10 birbirine yakın ortalama servis seviyelerine sahip iken, kaynak verimliliği sebebiyle simülasyon 10'ın ortalama vergi öncesi kazanç değeri daha yüksektir. Simülasyon 11'de ise simülasyon 7'ye göre ortalama hizmet seviyesi bir miktar daha düşük olmasına rağmen kaynak ve taşıma verimliliği sayesinde daha iyi sonuç vermiştir. Simülasyon 7, 10 ve 11'deki ortalama vergi öncesi kazanç değişimi ile ilgili sistem davranışı Şekil 5.58'de incelenmiştir.



Şekil 5.58 : Ortalama vergi öncesi kazanç değişimi (simülasyon 7-10-11).

Özetle; yapılan simülasyon çalışmaları sayesinde hedef kapasite oranı %113, erken sevkiyat ve tepki hızının orta/yüksek olduğu politika kümesinin konteyner servis sağlayıcılar açısından en fazla kazanca sahip politika kombinasyonları olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak ortalama kamyon dolulukları ile ilgili performans

göstergesine bakıldığında bu değerin %80-100 arasında değişmesi sipariş politikası ile birlikte daha fazla iyileştirme potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır. Müşteri ile işbirliği geliştirme kapsamında müşteri siparişlerinin taşıma doluluğunu sağlayacak bir şekilde sipariş etmesinin sağlanması taşıma maliyetlerini düşürecektir. Bu verimliliğin sağlanmasında, taşıma doluluğu endeksli ya da sefer bazlı bir ücret politikasının tariflenmesi müşteriyi teşvik edecektir. Şekil 5.59'da sefer bazlı ücret tarifelerini içeren simülasyon 12, simülasyon 10 ile kazanç açısından kıyaslanmıştır. Simülasyon 10'da konteyner başı sipariş ücreti 300 Pb/konteyner iken simülasyon 12'de konteyner başı sipariş ücreti 272 olup taşıma doluluk kaybı kadar oran fiyata verimsizlik kaybı olarak yansıtılmaktadır. Dolayısıyla müşteriler bu ücret tarifesine göre verimsizlikleri üstlenmek durumunda kalacakları için siparişlerini tam kamyon yük doluluğu sağlayacak şekilde düzenleyecek ve bu şekilde taşıma maliyetleri düşecektir. Şekil 5.59'da görüldüğü üzere; sipariş politikası tam kamyon yük doluluğu odaklı düzenlendiğinde sipariş ücreti %10 azaltıldığında bile ortalama kazanç aynı olmaktadır. Taşıma verimliliği her iki taraf açısından kazanım sağlayacağı için maliyetler düşecektir.



Şekil 5.59 : Taşıma doluluğu odaklı ücret politikası.

5.5.3 Duyarlılık analizi

Dış dünyadaki gelişmelere ve koşullara bağlı olarak parametrelerdeki değişim seviyelerinin, işletmelerin kapasite ve taşıma politika tercihlerini etkileme derecesini ve politika tercihlerinde hassasiyetin kaybolduğu noktayı saptamak için finansal performansı en iyi politika kümesi üzerinden duyarlılık analizi çalışmaları yürütülmüştür. Bu doğrultuda; farklı talep dalgalanma yapıları, taşıma maliyetleri ve

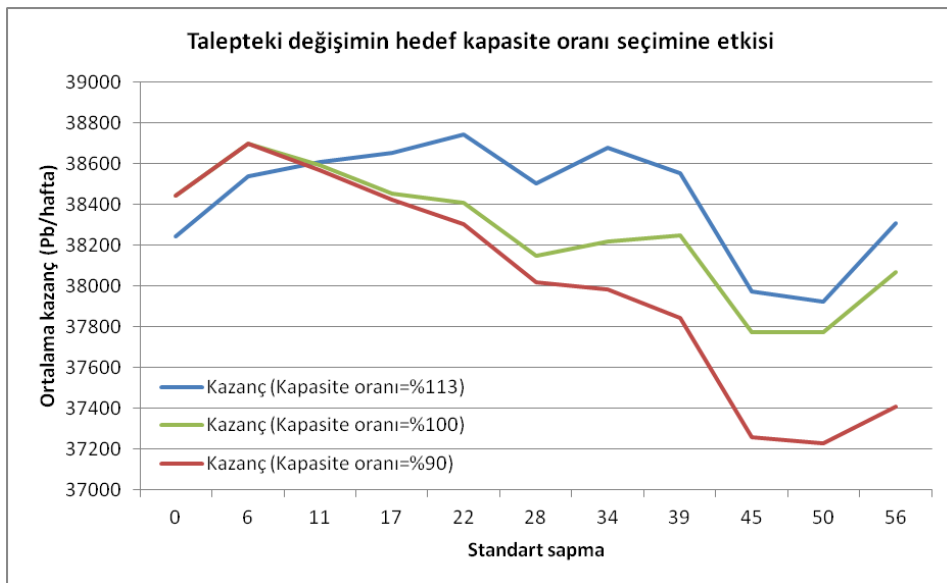
sipariş ücretlerinin, işletmenin en yüksek kazanç değerini elde etmesi konusunda politika tercihlerini nasıl ve hangi seviyede değiştirdiği incelenmiştir.

Talep dalgalanmasının politika kümesi tercihleri üzerinde etkisinin gözlemlenmesi için müşteri talebinin standart sapması belirli oranda artırılarak ve azaltılarak, farklı kapasite politikalarını içeren simülasyon modelleri çalıştırılmıştır (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.13 : Farklı talep dalgalanmalarındaki kapasite politikaları.

Artış/azalış katsayısı	Talep std sapması	Kazanç (Kapasite oranı=%113)	Kazanç (Kapasite oranı=%100)	Kazanç (Kapasite oranı=%90)
0	0	38243	38441	38441
0.2	6	38540	38698	38696
0.4	11	38607	38594	38569
0.6	17	38654	38451	38422
0.8	22	38743	38410	38302
1	28	38503	38148	38016
1.2	34	38677	38219	37984
1.4	39	38554	38247	37846
1.6	45	37971	37772	37257
1.8	50	37922	37776	37229
2	56	38308	38.070	37410

Standart sapmanın düşmesi ile birlikte kapasite politikaları arasındaki kazanç farkı azalmış ve standart sapma yaklaşık 11 seviyelerine kadar indiğinde hassasiyet kaybolmuştur (Şekil 5.60). Standart sapma %80'den fazla azaldığı durumda, eşleşen ya da takip eden kapasite politikasının daha fazla kazanç sağladığı görülmüştür. Standart sapma artığı durumlarda yüksek kapasite politikası daha avantajlı konumda olmaktadır.



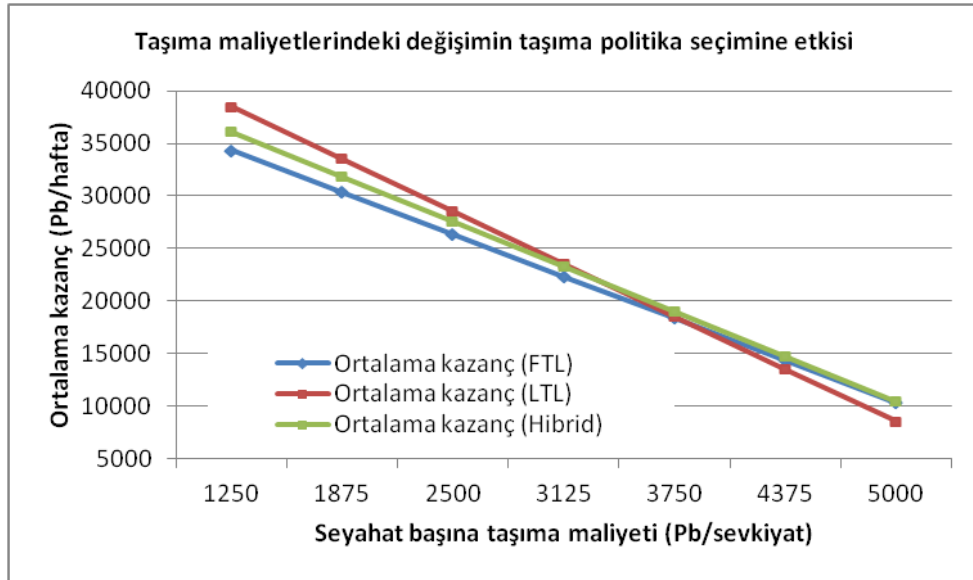
Şekil 5.60 : Talep dalgalanmalarının kapasite politika seçimine etkisi.

Taşıma maliyetlerinde değişimlerin taşıma politika tercihini etkileyip etkilemediğini analiz etmek için en yüksek kazanç seviyesine sahip yüksek kapasite politikasını içeren modelin seyahat başına taşıma maliyet parametresi, belirli oranda artırılarak; FTL, LTL ve minimum sevkiyat sayısı 4 olan hibrid taşıma politikalarının kazanç etkisi incelenmiştir (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.14 : Farklı taşıma ücretleri açısından taşıma politikaları.

Artış katsayısı	Sevkiyat başına taşıma maliyeti	Ortalama kazanç (FTL)	Ortalama kazanç (LTL)	Ortalama kazanç (Hibrid)
1	1250	34352	38503	36168
1.5	1875	30352	33713	31878
2	2500	26353	28524	27587
2.5	3125	22353	23535	23297
3	3750	18353	18546	19007
2.5	4375	14353	13557	14716
4	5000	10354	8560	10426

Şekil 5.61’de görüldüğü üzere taşıma maliyetleri yaklaşık 3 kat artığında politika tercihinde hassasiyet kaybolmakta ve daha fazla miktarda artış FTL ve hibrid taşıma politikalarını avantajlı hale getirmektedir.. Taşıma maliyetlerinin artırılması taşıma maliyetlerinin sipariş kaçırma maliyetlerine göre daha önemli olmasına yol açmaktadır. Daha düşük seviyelerde erken taşıma politikası daha yüksek kazanç sağlamaktadır.



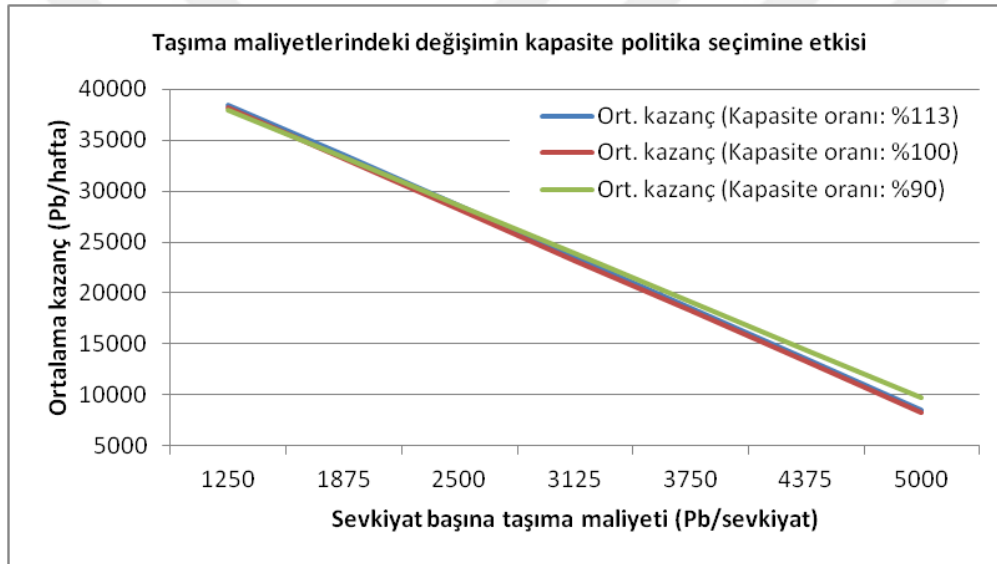
Şekil 5.61 : Taşıma maliyet değişiminin taşıma politika seçimine etkisi.

Taşıma maliyetlerinde değişimlerin kapasite politika davranışına etkisinin incelenmesi için benzer şekilde seyahat başına taşıma maliyetleri belirli oranlarla artırılarak simülasyon çalışmaları farklı kapasite politikalarını içerecek şekilde

tekrarlandığında, sevkiyat başına taşıma maliyeti 1.5-2 kat arasında bir seviyeye ulaştığında politika tercihinde hassasiyetin kaybolduğu görülmüştür (Şekil 5.62). Sevkiyat başına taşıma maliyeti 2 kattan daha yüksek bir seviyede artması düşük kapasite politikasını daha kazançlı hale getirmiştir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.15 : Farklı taşıma ücretleri açısından kapasite politikaları.

Artış katsayısı	Sevkiyat başına taşıma maliyeti	Ort. kazanç (Kapasite oranı: %113)	Ort. kazanç (Kapasite oranı: %100)	Ort. kazanç (Kapasite oranı: %90)
1	1250	38503	38148	38016
1.5	1875	33513	33170	33294
2	2500	28524	28192	28572
2.5	3125	23535	23214	23851
3	3750	18546	18236	19129
2.5	4375	13557	13258	14407
4	5000	8560	8273	9685



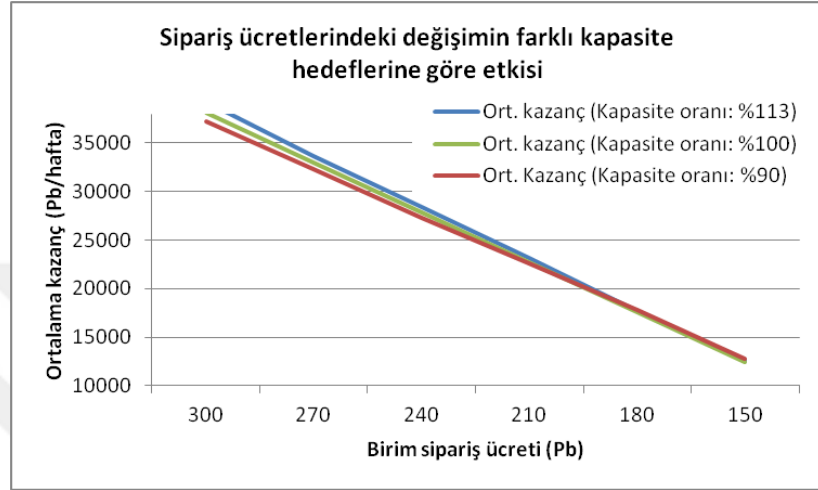
Şekil 5.62 : Taşıma maliyet değişiminin kapasite politika seçimine etkisi.

Sipariş ücretlerinin müşteri talebinde bir değişiklik yaratmadığı varsayımı altında farklı ücret tarifelerinin kapasite politika tercihinin etkileme durumunu gözlemlemek amacıyla sipariş ücreti parametresi kademeli artırılarak yüksek, ortalama, düşük kapasite oranına sahip simülasyon modelleri çalıştırılmıştır (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.16 : Farklı sipariş ücret tarifeleri açısından kapasite politikaları.

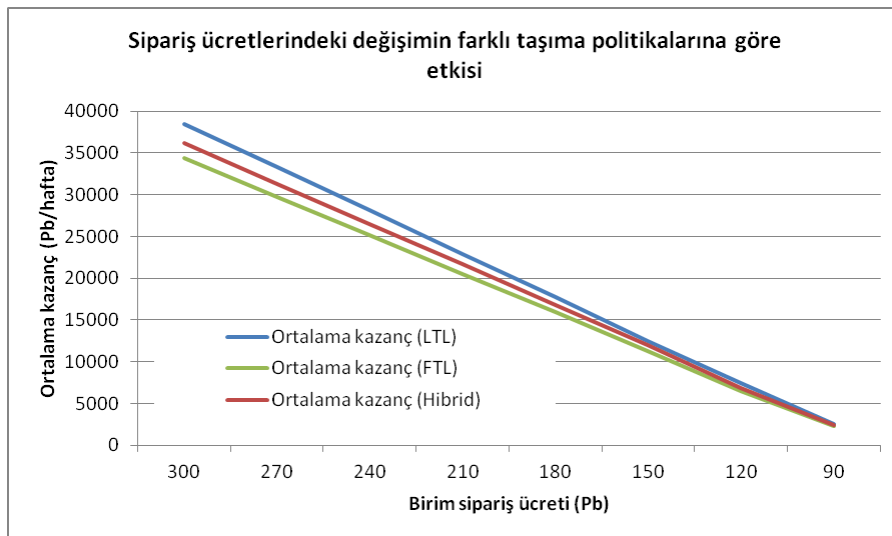
Azalış katsayısı	Sipariş ücreti	Ort. kazanç (Kapasite oranı: %113)	Ort. kazanç (Kapasite oranı: %100)	Ort. Kazanç (Kapasite oranı: %90)
1.0	300	38503	38148	38016
0.9	270	33306	33015	32956
0.8	240	28109	27883	27895
0.7	210	22912	22750	22835
0.6	180	17714	17618	17774
0.5	150	12517	12485	12714

Sipariş ücretleri %40 daha az olduğu durumda, kazanç seviyesi açısından politika tercihlerindeki hassasiyet kaybolmuştur (Şekil 5.63). Bu seviyeden daha fazla miktarda bir düşüş olduğunda ise düşük kapasite oranına sahip modelin ortalama kazancı, yüksek kapasite oranına sahip modele kıyasla daha fazla olmaya başlamıştır. Bu noktadan sonra verimlilik baskısı müşteri siparişinin kaçırılmasını engellemek için yapılan kapasite artırma politikalarına göre daha fazla olacaktır.



Şekil 5.63 : Sipariş ücretlerindeki değişimin kapasite politika seçimine etkisi.

Ücret tarifesindeki değişimin taşıma politika tercihlerini nasıl etkilediğini gözlemlemek için benzer şekilde FTL, LTL ve minimum sevkiyat sayısının 4 olduğu hibrid taşıma parametrelerini içeren simülasyon çalışmaları yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Şekil 5.64'de görüldüğü üzere birim sipariş ücreti %70'ın üzerinde bir azalma oranı olduğunda bile erken taşıma politikası olan LTL sefer planlaması, diğer politikalara göre daha yüksek kazanç oranına sahiptir.

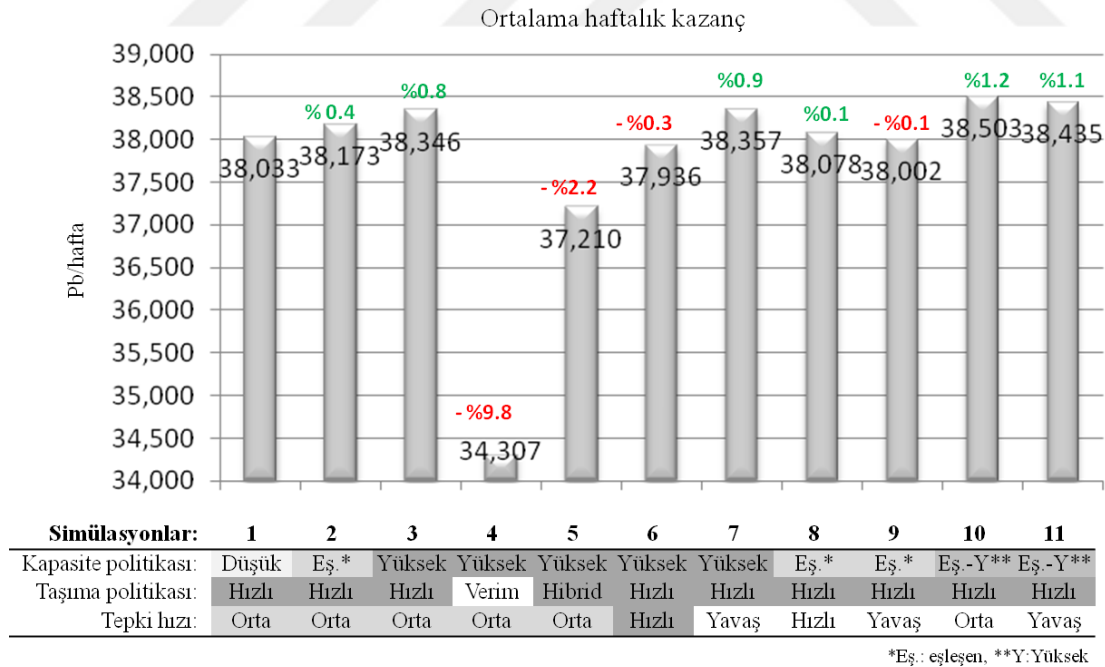


Şekil 5.64 : Sipariş ücretlerindeki değişimin taşıma politika seçimine etkisi.

5.6 Senaryo ve Duyarlılık Analizi Sonuçları

Konteyner taşıma zincirinde konteyner servis sağlayıcı firmanın verimlilik ve/veya hızlı cevap verme stratejilerini destekleyen kapasite ve taşıma politikalarının sistem davranışına etkilerini incelemek ve finansal açıdan kazanç seviyesi en yüksek politika kümesini belirleyebilmek için iteratif bir şekilde politika kombinasyonları oluşturulmuş ve sistem dinamiği simülasyon çalışmaları ile ilgili politika kümeleri analiz edilmiştir. İlgili politika analizlerinin kazanç açısından kıyaslaması Şekil 5.65’de sunulmuştur. Politika analizi için yapılan simülasyon çalışmaları ve politika kümelerinin kıyaslaması ile ilgili çeşitli performans göstergelerini içeren sonuçlar Çizelge A.2 ve Çizelge A.3’de paylaşılmıştır.

Otomotiv firması ile tedarikçisi arasındaki konteyner akış süreci ve ilgili talep yapısı altında yüksek kapasite ve erken taşıma politikalarını içeren politika kombinasyonlarının en yüksek kazanç seviyesi sağlayan politika kümesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tepki hızı kazanç seviyesini değiştirirse de; yüksek kapasite politika uygulamasında orta ya da düşük hız arasında çok büyük bir fark gözlenmemiştir.



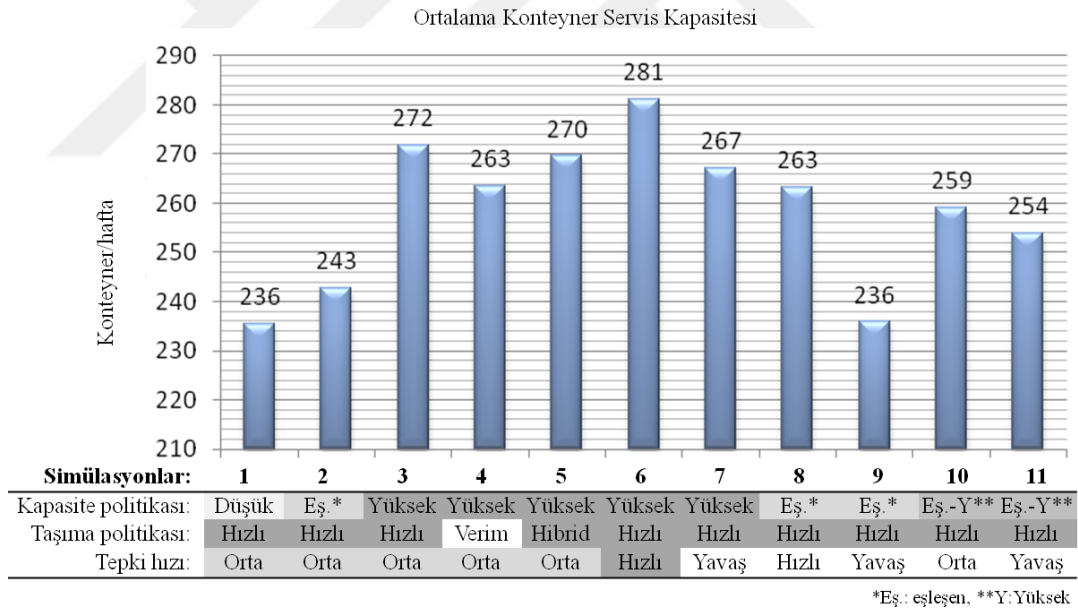
Şekil 5.65 : Simülasyon modellerinin kazanç açısından kıyaslaması.

Özellikle ikinci senaryo grubu çalışmalarında taşıma politikası, kazanç üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Geç sevkiyat politikası, diğer sevkiyat politikaları ile kıyaslandığında; bu politikanın uygulanmasında müşteri

servis seviyesindeki azalmaya bağlı satış kaybı, toplam konteyner çevrim süresindeki artışa bağlı yatırım ve elde bulundurma maliyet artış toplamının, taşıma verimliliği ile elde edilen kazanç artışından yüksek olması sebebiyle; kazançta ciddi anlamda düşüş yaşanmıştır. Bu sebeple geç sevkiyat politikası üzerinden yeni politika kümelerinin geliştirilmesi gerekli değildir. Bunun yerine yeni politika kümeleri; müşteri servis seviyesinin yükseltilmesi ve satış kaybının azalmasını sağlayan erken sevkiyat politikası üzerinden geliştirilmiştir.

Yüksek kapasite politikasında düşük tepki hızının, eşleşen kapasite politikasında ise yüksek tepki hızının kazanç miktarını yükseltmesi; konteyner servis kapasitesinin talebe göre gereğinden yüksek değerde olduğunu ve verimsizlik yarattığını ortaya koymuştur.

Kapasite fazlalığı kaynaklı bu verimsizliğin iyileştirilmesi için kademeli olarak hedef kapasite oranı düşürülerek yapılan simülasyon çalışmaları ile kazanç seviyesini en fazla artıracak parametre değeri belirlenmiştir.

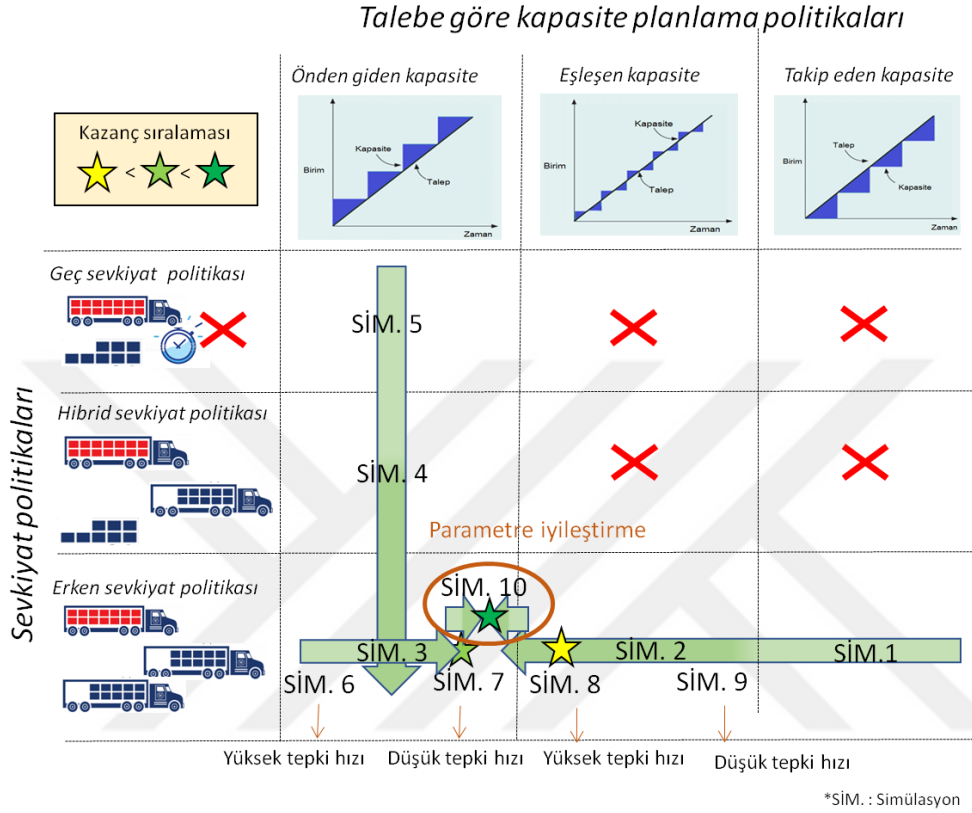


Şekil 5.66 : Ortalama konteyner servis kapasitesi.

Şekil 5.67’te iteratif bir şekilde gerçekleştirilen senaryo analizleri sonucu kazanç açısından politikaların baskın yönü özetlenmiştir.

Talep dalgalanması, sipariş ücreti ile diğer maliyet kalemlerine göre daha yüksek bir seviyede olan taşıma maliyetlerindeki değişimin politika tercihlerinde hangi noktadan itibaren karar değişikliği yaratıp yaratmadığının tespiti için yapılan duyarlılık analizleri, konteyner akış koşullarında radikal bir değişiklik olmadığı

sürece, seçilen politikanın uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Talebin standart sapması %80 oranında azaldığında ya da taşıma maliyetleri 1.5-2 kat arttığında politika tercihi konusunda hassasiyet kaybolmakta, daha radikal bir oranda değişimde politika tercihleri değiştirilmesi anlamlı hale gelmektedir.



Şekil 5.67 : Politika kümelerinin kazanç değişim yönü.

Kazanç potansiyeli en yüksek olan konteyner servis kapasite politika kümesi olan; yüksek kapasite, erken sevkiyat ve orta tepki hızı politikalarında sevkiyat doluluğu %80 ile %100 arasında değişkenlik göstermekte olup, ortalama doluluk oranı %90 civarındadır. Bu oran, erken sevkiyat politikasının en yüksek kazanç seviyesi sağlamasına rağmen, müşteri servis seviyesinin yükseltilmesi için bir miktar taşıma verimsizliğini yarattığını ortaya koymaktadır. Ancak müşteriyi tam yük sipariş vermeyi teşvik etmek için konteyner bazlı ücret tarifesi yerine sefer bazlı ücret tarifesi ya da taşıma doluluğu odaklı ücret tarifesi uygulaması, bu verimsizliğin azaltılması için bir fırsat olabilir. Çünkü bu teşvik müşterilerin tam kamyon yük kadar sipariş vermesine sebep olurken, kamyon doluluğu sağlanacağı için taşıma maliyetlerinde düşüşe sebep olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tedarik zincirinde; yüklerin korunması, saklanması ve taşınması süreçlerinde ekonomik ve sürdürülebilirlik açısından önemli bir araç/ekipman olan yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların etkin yönetimi artan rekabet ortamında ve maliyet iyileştirme faaliyetleri açısından daralan oyun sahasında, daha da önemli hale gelmektedir. Çünkü bu ekipmanlar ürün kalitesinin korunması yanında taşımacılık, yük elleçleme, depolama ve bilgi yönetimi gibi lojistik aktivitelerin maliyetleri üzerinde önemli rol oynamaktadır.

Fiziksel, bilgi ve finansal akışı içeren yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman yönetiminin önemli konularından biri olan konteyner servis kapasite planlama süreci, konteyner servis sağlayıcılar açısından müşterileri ile sürdürülebilir ticari ilişkiler kurmak ve karlılıklarını artırmak için önemli taktiksel ve operasyonel kararları barındırmaktadır. Bu süreçte işletmelerin karlılığının iyileştirilmesi için taktiksel karar hiyerarşisi içerisinde yerel bir çözümden ziyade daha büyük bir etki sağlanması için kapasite ve taşıma planlama kararlarının bütünleşik bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipman ve konteyner yönetimi ile ilgili yapılan yayın taramasında, bu alanlarda birçok araştırma yapıldığı ve birçok probleme çözüm arandığı görülmüştür. Araştırmalar genel olarak; yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların alternatif paketleme sistemlerini kıyaslaması, yeniden kullanılabilir taşıyıcı ekipmanların geri dönüşü, konteyner sistemi yönetimi ve yeni konteyner alım politikaları ile ilgili problemlere odaklanmıştır. Bu çalışmalar arasında filo büyüklüğü ve taşıma planlama problemleri tiplerine ayrı ayrı odaklanan çok fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun yanında bu iki probleme aynı anda çözüm arayan çalışmalar bulunmakla birlikte; bu süreçlerin konteyner taşıma zincirindeki diğer süreçler ile etkileşimini bütünsel bir bakış açısı ile dikkate alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Konteyner yönetim sürecinin bir çok geri bildirim döngüsüne sahip olması dolayısıyla; belirli bir probleme odaklanarak yapılan iyileştirmelerin, sistemde yer alan diğer performans göstergelerini etkilemesine sebep olabileceği için

bütünsel bir bakış ihtiyacı mevcuttur. Sistem karmaşıklığı ve dinamikliği dikkate alınarak tedarik zinciri problemlerinde benzetim yaklaşımı ile çözüm arayan çalışmalar incelenmiştir. En yaygın kullanılan benzetim modelleme teknikleri olan kesikli olay simülasyonu ile sistem dinamiği yaklaşımlarından hangi tekniğin, tedarik zincirinde hangi konular ya da problemler için ağırlıklı olarak tercih edildiği incelendiğinde, konu ile seçilen teknik tercihi arasında genel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür. Kamçı etkisinin analizi gibi bütünsel bakış ihtiyacı olan ve geri bildirim döngülerini içeren tedarik zinciri konularında, sistem davranışını açıklama gücü daha başarılı olan sistem dinamiği modelleme yaklaşımının yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, konteyner taşıma zincirinde faaliyet gösteren göbek ve ispit ağ yapısına sahip konteyner servis sağlayıcılar için, kazancı en fazla iyileştirecek konteyner servis planlama politika kümesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; konteyner taşıma zincirinin birbiri ile etkileşim içinde olan kapasite yönetimi, sipariş yönetimi, finansal yönetim, bakım yönetimi süreçleri vb. birçok süreci barındırması, bu süreçlerin çok sayıda geri bildirim döngüsü ve doğrusal olmayan ilişkileri içermesi, karmaşık ve dinamik yapıda olması sebeplerinden ötürü; sistem dinamiği modelleme yaklaşımına dayalı 6 adımdan oluşan bir metodoloji sunulmuştur. Önerilen metodoloji doğrultusunda; problem tanımlaması yapıldıktan sonra, nedensel döngü diyagramlarından yararlanılarak göbek ve ispit ağ yapısına sahip konteyner sisteminin kavramsal modeli, yukarıda bahsedilen alt süreçleri içerecek şekilde oluşturulmuş ve ardından stok akış diyagramları yardımıyla bu konteyner sisteminin simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu simülasyon modeli yardımıyla, kapasite ve taşıma planlama politikalarını içeren kazanç açısından en iyi politika kümesini elde etmek için senaryo ve politika analizleri gerçekleştirilmiştir. İlgili politika kümeleri; kapasite, taşıma politikaları ve tepki hızının değişen parametre değerlerinden oluşmaktadır ve senaryo analizleri en iyi politika kümeleri üzerinden hareketle politika kümeleri iteratif olarak türetilerek gerçekleştirilmiştir. Senaryo analizleri üzerinden parametre iyileştirmeleri yapılarak kapasite, taşıma politikası ile ilgili en fazla kazanç sağlayacak parametre seti belirlenmiş ve duyarlılık analizi çalışmaları yürütülmüştür.

Senaryo analizleri kapsamında; kapasite politikaları açısından farklı hedef kapasite oranlarına sahip talebe göre önden giden/yüksek kapasite, taleple eşleşen/ortalama

kapasite, talebin gerisinden giden/düşük kapasite politikaları değerlendirmeye alınmıştır. Taşıma politikaları açısından ise tam yük doluluğun sağlanana kadar sevkiyatın beklendiği geç/tam kamyon sevkiyat yük politikası, tam yük doluluk beklenmeden sevkiyatın gerçekleştirildiği erken/eksik kamyon yük sevkiyat politikası ve minimum sevkiyat sayısı uygulamasını içeren hibrid sevkiyat politikalarının finansal performansa etkisi incelenmiştir. Bunun ile birlikte değişime karşı farklı tepki hızı veya gecikme sürelerinin de etkisi analiz edilmiştir.

Çalışmada önerilen metodoloji, bir otomobil üreticisi firma ile onun tedarikçisi arasındaki yük akış sürecinde konteyner servis kapasite politika kümesinin belirlenmesi için uygulanmıştır. Senaryo analizleri, geç taşıma politikalarının kazanç seviyesini ciddi şekilde düşürdüğünü ortaya koymuştur. Yüksek kapasite ve erken taşıma politika kombinasyonları kazanç seviyesini en fazla artıran politika kümesi olmuştur. Yapılan duyarlılık analizi çalışmaları, ilgili politika kümesinin kararlı bir şekilde avantaj yarattığını göstermiştir. Çünkü sipariş ücretleri, taşıma maliyetleri veya talep dalgalanması ile ilgili parametrelerinden birinin en az iki kat değişmesi politika tercihlerinde değişime sebep olmaktadır. Bunun yanında tedarik zinciri paydaşları arasındaki iş birliğinin kuvvetlendirilmesi ile birlikte, taşıma odaklı bir sipariş politikasının güdülmesi toplam tedarik zinciri maliyetlerini düşüreceği için kazancı daha da artıracaktır. Taşıma verimliliğinin sağlanması amacıyla işletmelerin, sipariş ücreti konusunda müşteri ile yapılacak anlaşmanın tam kamyon yük siparişi teşvik edici bir ücret politikayı içermesi toplam maliyeti azaltılması için faydalıdır.

Önerilen metodoloji, göbek ve ispit ağı yapısına sahip konteyner taşıma zincirine sahip başka farklı sektörlerde de politika analizlerinde kullanılabileceği gibi, yeni politika geliştirme aracı olarak da kullanılabilir. Bu çalışma kapasite ve taşıma planlama süreci ile taktiksel seviyede onun etkileşimde bulunduğu diğer kritik süreçleri içermesine karşın, ağ ve dağıtım yapısı planlama süreçleri vb. stratejik seviyede kararların bulunduğu süreçleri kapsayacak şekilde genişletilebilir. Çalışma kapsamında tedarik zinciri ağ yapılarından yalnızca göbek ve ispit ağı yapısı dikkate alınarak konteyner servis kapasite modellemesi gerçekleştirilmiştir. Otomotiv sektöründe ve farklı endüstrilerde göbek ve ispit ağı gibi karmaşık dağıtım ağı da yaygınca konteyner taşıma zincirinde ağ yapılandırmasında tercih edilebilmektedir. Bu ağ yapısı içerisinde konteyner kapasite planlama politikalarının finansal etkisinin de incelenmesi yararlı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Abbas, K. A. & Bell, M. G. H.** (1994). System dynamics applicability to transportation modeling. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 28 (5), 373-390.
- Abdelbari, H., Elsayah, S. ve Shafi Kamran** (2015). Model Learning Using Genetic Programming Under Full And Partial System Information Conditions. *33rd International Conference of the System Dynamics Society*, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Achamrah, F. E., Riane, F., Bouras, A. ve Sahin, E.** (2020). Collaboration Mechanism for Shared Returnable Transport Items in Closed Loop Supply Chain, *9th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems*, Şubat 22-24, Valletta, Malta.
- Aggarwal, R.** (2014). *An agent approach to improving radio frequency identification enabled Returnable Transport Equipment*. (Doktora tezi). Aston University, İngiltere.
- Anderson, E.G., Morrice, D.K. ve Lundeen, G.** (2005). The ‘physics’ of capacity and backlog management in service and custom manufacturing supply chains, *System Dynamics Review*, 21, 217–247.
- Atamer, B., Bakal, I. S. ve Bayındır, Z. P.** (2013). Optimal pricing and production decisions in utilizing reusable containers, *Int. J. Production Economics*, 143 (2), 222–232.
- Ayanoğlu, M. & Gökçe M.** (2007). Sistem Düşüncesinden Sistem Dinamiklerine, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (3) 29-41.
- Ballou, R.H.** (1992). *Business logistics management*, Prentice-Hall (443), New Jersey.
- Baris, E.** (2016). *An integration of container loading and vehicle routing problems*. (Doktora tezi). İzmir Ekonomi Üniversitesi, Mühendislik ve Bilgisayar Bilimleri Fakültesi, İzmir.
- Barlas, Y.** (2012). *System Dynamics: Systemic Feedback Modeling For Policy Analysis*, An Insight into the Encyclopedia of Life Support Systems, Paris, France: UNESCO Publishing—Eolss Publishers.
- Baskasoglu, A., Dudaklı, N., Subulan, K., Taşan, A. S., Kaplan, C. ve Turan, M.** (2015). Stratejik Ve Taktiksel Filo Yönetimi Üzerine Literatür Araştırması ve Bir Lojistik Firmasından Uygulama Örnekleri, *IV. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi*, 21-23 Mayıs 2015, Gümüşhane.
- Başkaya, Z.** (1997). *Sistem Dinamiğinin İşletmelerde Uygulanması*, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.

- Bilbao, A.M., Carrona, A.L., Hewitt, M. ve Thorn, B.K.** (2011). On the environmental impacts of pallet management operations, *Management Research Review*, 34 (11), 1222-1236.
- Bojkow, E.** (1991). Basic considerations on the calculation of the trippage number for returnable containers, *Packag. Technol. Sci.*, 4 (6), 315–331.
- Bottani, E., Montanari, R., Rinaldi, M. And Vignali, G.** (2015). Modeling and multi-objective optimization of closed loop supply chains: A case study, *Computers & Industrial Engineering*, 87, 328–342.
- Bowersox, D., Closs, D., ve Cooper, M. B.** (2012). *Supply Chain Logistics Management (2nd ed.)*. New York, NY.: McGraw-Hill.
- Buchanan, D.J. ve Abad, P.L.** (1998). Optimal policy for a periodic review returnable inventory system, *IIETrans*, 30 (11), 1049–1055.
- Carrano, A. L., Pazour J. A., Roy, D. and Thorn, B. K.** (2015). Selection of pallet management strategies based on carbon emissions impact, *Int. J. Production Economics*, 164, 258–270.
- Carrano, A. L., Pazour, J. A., Roy, D. ve Thorn, B. K.** (2015). Selection of pallet management strategies based on carbon emissions impact, *Int. J. Prod. Econ*, 164 (6), 258–270.
- Chen, Y. & Yang, T.** (2005). Simulation of design and analysis of a container reverse-logistics system, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 22 (3), 189-198.
- Cheng, Y. T. ve Yang, T.** (2005). Simulation of design and analysis of a container reverse logistics system, *J.Chin. Inst. Ind. Eng.*, 22 (3), 189–198.
- Chew, E.P., Huang, H.C. ve Horiana, H.C.** (2002). Performance measures for returnable inventory: a case study, *Prod. Plan. Control*, 13 (5), 462–469.
- Coyle R, G.** (1996). *System Dynamics Modelling*, Chapman & Hall, New York.
- Dyson, B. & Chang, N. B.** (2005). Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, 25 (7), 669–679.
- Elia, V. & Gnoni, M.G.** (2015). Designing an effective closed loop system for pallet management, *Int. J. Production Economics*, 170, 730–740.
- Erkut, H.** (1983). *Sistem Dinamiğinin Temelleri*, İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Fan, X., Gon, Y., Xu, X., ve, Zou, B.** (2019). Optimal decisions in reducing loss rate of returnable transport items, *Journal of Cleaner Production* 214, 1050-1060.
- Forrester, J.** (1958). *Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers*, Harvard Business Review, 36, 37-66.
- Forrester, J.,** (1961). *Industrial Dynamics*, MIT Press.
- Georgiadis, P. & Besiou, M.** (2010). Environmental and economical sustainability of WEEE closed-loop supply chains with recycling: a system dynamics analysis, *Int J Adv Manuf Technol*, 47, 475-493.

- Georgiadis, P., Vlachos, C. ve Iakovou, E.** (2005). A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains,” *Journal of Food Engineering*, 70 (1), 351-64.
- Giubilato, B.** (2017). *RFID for returnable container management in the automotive industry: A Discrete-Event Simulation approach*. (Yüksek lisans tezi) University of Windsor, Mechanical, Automotive, and Materials Engineering, Windsor.
- Glock, C. H. & Kim, T.** (2014). Container management in a single-vendor-multiple-buyer supply chain, *Logist. Res.*, 7:112
- Glock, C.H.** (2017). Decision support models for managing returnable transport items in supply chains: A systematic literature review, *International Journal of Production Economics*, 183 (Part B), 561–569.
- Glock, C.H. ve Kim, T.** (2016). Safety measures in the joint economic lot size model with returnable transport items, *Int. J. Production Economics*, 181, 24–33.
- Goh, T. N. & Varaprasad, N.** (1986). A statistical methodology for the analysis of the life cycle of reusable containers, *IIE Trans.*, 18 (1), 42–47.
- Gökçe, M.** (2008). *Tedarik Zinciri Yönetiminin Sistem Dinamiği ve Ajan Bazlı Yaklaşım ile Modellenerek Karşılaştırılması*. (Doktora tezi). Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Gönül, E. D.** (2018). *Clinical Laboratory Performance Analysis: A System Dynamics Approach*. Yeditepe Üniversitesi, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul.
- Grimes-Casey, H. G., Seager, T. P., Theis, T. L. ve Powers, S. E.** (2007). A game theory framework for cooperative management of refillable and disposable bottle lifecycles, *J. Clean. Prod.*, 15 (17), 1618–1627.
- Han, G. & Pu, X.** (2018). Integrated planning and allocation: A stochastic dynamic programming approach in container transportation, *Chaos, Solitons and Fractals*, 114, 264–274.
- Hariga, M. A., Glock, C. H. ve Kim, T.** (2016). Integrated product and container inventory model for a single-vendor single-buyer supply chain with owned and rented returnable transport items, *International Journal of Production Research*, 54 (7), 1964–1979.
- Hekkert, M. P., Joosten, L. A. J. ve Worrell, E.** (2000). Reduction of CO2 emissions by improved management of material and product. *Resources, Conservation and Recycling*, 29 (1–2), 33-64.
- Hellström, D.** (2009). The cost and process of implementing RFID technology to manage and control returnable transport items. *Int. J. Logist.:Res. Appl.*, 12 (1), 1–21.
- Hellström, D. ve Johansson, O.** (2010). The impact of control strategies on the management of returnable transport items. *Transp. Res. Part E*, 46 (6), 1128–1139.

- Helo, P. T.** (2000). Dynamic modelling of surge effect and capacity limitation in supply chains, *International Journal of Production Research*, 38 (17), 4521-4533.
- Hesan, R., Ghorbani A. ve Dignum, V.** (2014). Using Difference Equation to Model Discrete-time Behavior in System Dynamics Modeling, *32nd International Conference of the System Dynamics Society*, Delft, Netherlands.
- Hugichi, T. & Troutt, M. D.** (2004). Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product—Lessons from the Tamagotchi case, *Computers & Operations Research*, 31, 1097–1114.
- Ijumba, E. L.** (2012). *Metamodeling and Multi Axis Loss Function for Returnable Containers in Automotive Closed Loop Supply Chain*. (Doktora tezi). Lawrence Technological University, A. Leon Linton Department of Mechanical Engineering, Detroit.
- ISO 18616-1** (2016). *Transport Packaging Transport packaging — Reusable, rigid plastic distribution boxes — Part 1: General purpose application*, Alıntı: 05 Mayıs, 2020, <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:18616:-1:ed-1:v1:en:fig:1>.
- Jin, Y.** (2010). Investment in Container Ships for the Yangtze River: A System Dynamics Model, Dynamic Modelling, *OCEANS 2008 - MTS/IEEE Kobe Techno-Ocean*, Japan: Kobe, Nisan 8-11.
- Kamath, N.B. ve Roy, R.** (2007). Capacity augmentation of a supply chain for a short lifecycle product: A system dynamics framework, *European Journal of Operational Research*, 179, 334–351.
- Kelle, P. & Silver, E. A.** (1989a). Forecasting the returns of reusable containers, *Journal of Operation Management*, 8 (1), 17–35.
- Kelle, P. & Silver, E. A.** (1989b). Purchasing policy of new containers considering the random returns of previously issued containers, *IIE Trans.*, 21 (4), 349–354.
- Kim, T., Glock, C.H. ve Kwon, Y.** (2014). A closed-loop supply chain for deteriorating products under stochastic container return times, *Omega*, 43 (3), 30–40.
- Kroon, L. & Vrijens, G.** (1995). Returnable containers: an example of reverse logistics, *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, 25 (2), 56–68.
- Krudewig, C.** (2015). *Transport and Capacity Planning for Reusable Containers under Fixed-Step Transport Costs*. (Doktora Tezi). Catholic University of Eichstätt-Ingolstadt, Faculty of Business Administration, Ingolstadt.
- Krudewig, C.** (2015). *Transport and Capacity Planning for Reusable Containers under Fixed-Step Transport Costs*. (Doktora Tezi). Catholic University of Eichstätt-Ingolstadt.
- Levi, M., Cortesi, S., Vezzoli, C. ve Salvia G.** (2011). A comparative life cycle assessment of disposable and reusable packaging for the distribution of Italian fruit and vegetables, *Packag. Technol. Sci.*, 24 (7), 387–400.

- Li, C., Ren, J. ve Wang, H.** (2016). A system dynamics simulation model of chemical supply chain transportation risk management systems, *Computers and Chemical Engineering*, 89, 71–83.
- Li, X., Li, L., Hu, Q. ve Dai, Y.** (2009). Systems thinking solving bullwhip effect in supply chain from the perspective of system dynamics, *Management and Service Science, International Conference on Management and Service Science*, Çin, Wuhan: Eylül. 20-22.
- Lui, G., Li, L., Chen, J. ve Ma, F.** (2020). Inventory sharing strategy and optimization for reusable transport items, *Int. J. Production Economics* 228,1-10.
- Lunani, M., & Hanebeck, C.** (2008). RFID-enabled returnable container management: Solution to a chronic and wasteful automotive industry problem. *IBM Global services*.
- Maani, K. E. & Cavana, R. Y.** (2007). *Systems Thinking And Modelling Understanding Change and Complexity*, Pearson Education, New Zealand.
- Maleki, R.A. & Reimche, J.** (2011). Managing Returnable Containers Logistics - A Case Study Part I - Physical and Information Flow Analysis, *International Journal of Engineering Business Management*, 3 (2).
- MEB** (2011). *Ulaştırma Hizmetleri Paletler ne Konteynerler 840UH0038*, (Eğitim Materyali). Ankara.
- Menesatti, P., Canali, E., Sperandio, G., Burchi, G., Devlin, G. ve Costa C.** (2012). Cost and waste comparison of reusable and disposable shipping containers for cut flowers, *Packag. Technol. Sci.*, 25 (4), 203–215.
- Mensendiek, A.** (2015). Scheduling with returnable containers, *Journal of Scheduling*, 18, 593–605.
- Mollenkopf, D., Closs, D., Twede, D., Lee, S. ve Burgess, G.** (2005). Assessing the viability of reusable packaging: a relative cost approach, *J.Bus. Logist.*, 26 (1), 169–197.
- Morecroft, J.** (2015). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach*, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Mula, J., Campuzano-Bolarin, F., Diaz-Madroño, M. ve Carpio, K. M.** (2013). A system dynamics model for the supply chain procurement transport problem: comparing spreadsheets, fuzzy programming and simulation approaches, *International Journal of Production Research*, 51 (13), 4087–4104.
- Ng, T. S. & Lam, S. W.** (2010). *Dynamic Maritime Systems Inquiry: The Driver Approach*. Wiley Online.
- Öğüt, K. & Şahin S.** (2012). Türkiye’de Finansal İstikrar Sorununa Sistem Dinamiği Yaklaşımı, *Türkiye Ekonomi Kurumu*.
- Özbayra, M., Papadopoulou, T. C., Akgun, M.** (2007). System Dynamics Modelling of A Manufacturing Supply Chain System, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15, 1338-1355.

- Palsson, H., Finnsgard, C. ve Wänstrom, C.** (2013). Selection of packaging systems in supply chains from a sustainability perspective: The case of Volvo, *Packag. Technol. Sci.*, 26 (5), 289–310.
- Prendergast, G., P.** (1995). The EC directive on packaging and packaging waste: current status and logistical implications, *Logistics Information Management*, 8, 10-17.
- Radzicki, M. J.** (2007). *System Dynamics and Its Contribution to Economics and Economic Modeling*, Forthcoming In: Encyclopedia of Complexity and System Science, Springer-Verlag.
- Ray, C. D., Michael, J. H. ve Scholnick, B. N.** (2006). Supply chain system costs of alternative grocery industry pallet systems, *Forest Product Journal*, 56 (10), 52–57.
- Rosenau, W. V., Tweede, D., Mazzeo, M.A. ve Singh S.P.** (1996). Returnable/reusable logistical packaging: a capital budgeting investment decision framework, *J.Bus. Logist.*, 17 (2), 139–165.
- Rosenau, W.V., Tweede, D., Mazzeo, M.A. ve Singh S.P.** (1996). Returnable/reusable logistical packaging: a capital budgeting investment decision framework, *J. Bus. Logist.*, 17 (2), 139–165.
- Ruth, M., Hannon, B.** (2012). *Modeling Dynamic Economic Systems*, Second Edition Springer.
- Sarkar, B., Ullah, M. And Kim, N.** (2017). Environmental and economic assessment of closed-loop supply chain with remanufacturing and returnable transport items, *Computers & Industrial Engineering*, 111, 148–163.
- Senaras A.E.** (2016). *Döviz Kuru Davranışının Sistem Dinamiği Yaklaşımıyla İncelenmesi*. Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Senge, P., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R. ve Smith, B.** (1994). *The Fifth Discipline Fieldbook*, Century, London.
- Sezen, H. K. & Günal, M.** (2009). *Yöneylem Araştırmasında Benzetim*, Ekin Yayınevi, Bursa.
- Sezen, H. K.** (2007). *Yöneylem Araştırması*, Ekin Yayınevi, Bursa.
- Shepherd, S. P.** (2014). A review of system dynamics models applied in transportation. *Transportmetrica B*, 2 (2).
- Sterman, J.D.** (2000). *Business dynamics – systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw-Hill, USA.
- Suryani, E., Chou, S. ve Chen, C.** (2010). Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics frame work, *Expert Systems with Applications*, 37 (3), 2324–2339.
- Tako, A. A. & Robinson, S.** (2010). Model development in discrete-event simulation and system dynamics: an empirical study of expert modellers, *European Journal of Operational Research*, 207 (2), 784 – 794.

- Tako, A. A. ve Robinson, S.** (2012). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context, *Decision Support Systems*, 52, 802–815.
- Toukan, M. & Chan, H. L.** (2018). *Beyond the Seaport: Assessing the Inland Container Transport Chain Using System Dynamics*. (Yüksek lisans tezi). Massachusetts Institute Of Technology, Applied Science In Supply Chain Management, Boston
- Towil, D. R.** (1996). Industrial Dynamics Modelling of Supply Chains, *Logistic Information Management*, 9 (4), 43-56.
- Vlachos, D., Georgiadis, P. ve Iakovou, E.** (2007). A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains, *Computers & Operations Research*, 34, 367–394.
- Wolstenholme, E.F.** (1990). *Systems Enquiry: A System Dynamics Approach*. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Yeo, G., J. Pak & Yang Z.** (2013). Analysis of dynamic effects on seaports adopting port security Policy, *Transportation Research Part A*, 49, 285–301.
- Yur, T** (2011). *Deniz Ticaretinde Boş Konteyner Konumlandırması ve Türkiye’te etkileri*. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Zhang, Q., Segerstedt, A., Tsao, Y.C. ve Liu, B.** (2015). Returnable packaging management in automotive parts logistics: dedicated mode and shared mode, *International Journal of Production Economics*, 168 (10), 234–244.
- Zhao, W., Ren, H., ve Rotter, V. S.** (2011). A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center – The case of Chongqing, *Resources, Conservation and Recycling*, 55 (11), 933–944.



EKLER

EK A: Simölasyon ıktıları ve nedensel döngü diyagramı





EK A**Çizelge A.1 : Model doğrulama çalışması talep ve sevk miktarı verileri.**

Zaman dilimi	Sipariş miktarı	Sevk miktarı (Gerçekleşen)	Sevk miktarı (Benzetim)	Ortalama mutlak hata	Ortalama % mutlak hata
1	180	200	200	0	0.00
2	189	189	189	0	0.00
3	233	233	233	0	0.00
4	249	253	249	4	0.02
5	257	258	246	12	0.05
6	249	240	247	7	0.03
7	197	194	197	3	0.02
8	216	226	216	10	0.04
9	182	173	182	9	0.05
10	200	199	200	1	0.01
11	184	184	184	0	0.00
12	195	195	195	0	0.00
13	200	200	200	0	0.00
14	198	198	198	0	0.00
15	162	152	162	10	0.07
16	218	228	218	10	0.04
17	122	116	122	6	0.05
18	185	174	185	11	0.06
19	172	172	172	0	0.00
20	193	192	193	1	0.01

Çizelge A.2 : Simülasyon çalışmaları çıktıları.

Değişkenler	İstatistik	Simülasyonlar										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Konteyner filo büyüklüğü (Konteyner/hafta)	Ortalama	840	856	956	981	950	989	939	900	851	913	894
	Min	838	839	850	850	824	850	850	815	839	840	839
	Maks	850	880	1054	1081	1084	1120	1025	1003	866	992	963
	St Sap.	3.7	16.0	74.1	61.2	89.0	86.2	68.9	69.1	11.8	53.1	64.9
Ortalama Kaynak Kullanım Oranı	Ortalama	0.90	0.89	0.81	0.75	0.80	0.79	0.83	0.86	0.89	0.85	0.86
	Min	0.71	0.71	0.68	0.56	0.67	0.50	0.72	0.55	0.75	0.71	0.75
	Maks	1.00	0.99	0.98	0.93	0.93	1.00	0.93	1.00	0.98	0.96	0.95
	St Sap.	0.07	0.06	0.04	0.06	0.04	0.10	0.04	0.10	0.06	0.05	0.05
Ortalama servis seviyesi	Ortalama	0.97	0.98	1.00	0.89	0.98	1.00	1.00	0.99	0.98	0.995	0.99
	Min	0.78	0.83	0.94	0.69	0.84	0.97	0.89	0.81	0.88	0.87	0.86
	Maks	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	St Sap.	0.05	0.04	0.01	0.07	0.04	0.00	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02
Konteyner sipariş iptali (Konteyner/hafta)	Ortalama	8.05	3.96	0.37	24.41	5.67	0.09	0.79	1.63	5.06	1.12	1.74
	Min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maks	67.00	41.00	17.00	69.00	40.00	8.00	27.00	29.00	45.00	33.00	37.00
	St Sap.	13.43	2.18	2.02	14.99	9.79	0.66	3.53	3.31	1.94	4.57	5.89
Konteyner servis kapasitesi (Konteyner/hafta)	Ortalama	236	243	272	263	270	281	267	255	241	259	254
	Min	224	224	229	221	232	210	235	203	227	224	227
	Maks	260	260	310	305	309	336	300	302	260	292	281
	St Sap.	4.43	10.15	26.77	25	25	291.90	264.56	26.66	8.32	24.11	20.12
Sevkiyat sayısı (Sevkiyat/hafta)	Ortalama	4.8	5.0	5.1	4.1	5.0	5.1	5.1	5.1	5.0	5.1	5.1
	Min	3.0	3.0	3.0	2.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Maks	5.0	6.0	7.0	5.0	6.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	St Sap.	0.5	0.7	0.8	0.8	0.1	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8
Vergi öncesi kazanç (Pb/hafta)	Ortalama	38,033	38,148	38,346	34,307	37,210	37,936	38,357	38,218	38,067	38,503	38,435
	Min	22,945	22,945	22,803	16,203	18,814	22,356	22,771	22,952	22,945	22,945	22,945
	Maks	48,243	48,243	52,544	45,281	49,411	51,340	49,666	51,576	48,249	50,500	48,249
	St Sap.	4464	4571	5489	5680	5333	5580	5314	5080	4496	5279	5058

Çizelge A.3 : Politika kümelerinin kıyaslanması

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kapasite politikası	Geriden takip	Eşleşen	Liderlik	Liderlik	Liderlik	Liderlik	Liderlik	Eşleşen	Eşleşen	Liderlik	Liderlik
Taşıma politikası	Hızlı cevap	Hızlı cevap	Hızlı cevap	Verimlilik	Hibrid	Hızlı cevap	Hızlı cevap	Hızlı cevap	Hızlı cevap	Hızlı cevap	Hızlı cevap
Tepki hızı	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Kısa	Uzun	Kısa	Uzun	Orta	Uzun
Hedef kapasite oranı	80%	100%	120%	120%	120%	120%	120%	100%	100%	113%	113%
Hedef kaynak kullanım oranı	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Sipariş lotu	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Küçülme oranı	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Taşıma stratejisi	LTL	LTL	LTL	FTL	Maks(FTL,5)	LTL	LTL	LTL	LTL	LTL	LTL
Minimum sevkiyat sayısı	-	-	-	-	5	-	5	-	-	-	-
Hedef hizmet seviyesi	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Ölçüm süresi	4	4	4	4	4	1	8	4	4	4	8
Ort. kazanç	38,033	38,148	38,346	34,307	37,210	37,936	38,357	38,218	38,067	38,503	38,435
Artış yüzdesi		0.3%	0.8%	-9.8%	-2.2%	-0.3%	0.9%	0.5%	0.1%	1.2%	1.1%

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Çağatay BAHADIR
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.04.1987 / BURSA
E-posta : bahadirm@itu.edu.tr, cagatay.bahadir@tofas.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İşletme Mühendisliği Doktora Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2010-2014 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2014-2020 yılları arasında TOFAŞ'da (Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.) Tedarik Zinciri Geliştirme Uzmanı olarak görev yaptı.
- 2020 yılından itibaren TOFAŞ'da (Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.) Veri Bilimi Uzmanı olarak görev yapıyor.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Bahadır, M. C.**, Akdag, H. C. 2019. The System Dynamics Modelling for Container Capacity & Transportation Planning Policies, *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 35 (4), (2019), 200-212.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Bahadır M. C.** (2015) What is ‘Innovative Rack Design?’, *Newsletter Innovation*, Vol 4 (1).
- **Bahadır M. C.** and Bahadır S.K. (2015). Selection of appropriate e-textile structure manufacturing process prior to sensor integration using AHP, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76 (9) pp. 1719-1730.
- **Bahadır M. C.** and Satoglu, S. (2014) A novel robot arm selection methodology based on axiomatic design principles, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 01/2014, ISSN: 1433-3015 (Online) / 0268-3768 (Print), Springer London.
- **Bahadır M.C.** and Satoglu. S., (2012). A Decision Support System for Robot Selection Based on Axiomatic Design Principles. *3rd International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, July 3-6, İstanbul, Turkey. (Best track award in Manufacturing and Design Track)
- **Bahadır, M. C.**, Bahadır S. K. and Kalaoglu, F. (2012). An Artificial Neural Network Model for Bursting Strength of Knitted Fabrics, *International Conference Proceedings of PSRC - International Conference on Machine Learning*, Electrical, Electronics & Mechanical Engineering, August 11-12 Phuket, Thailand.
- Bolturk, E., Oztaysi, B. and **Bahadır, M.C.** (2012). Comparision of Artificial Neural Network and Multiple Regression Models for Long Term Electricity Demand Forecasting. *International Energy and Environment Fair and Conference*, April 24-26, İstanbul, Turkey.