

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE İTME ÇEKME
NOKTASI KARARI VE ÇEŞİTLİ DİNAMİKLİKLER
ALTINDA PERFORMANS ANALİZİ**

**Hazırlayan
İpek Nur YİYİT**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Latife GÖRKEMLİ AYKUT**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE İTME ÇEKME
NOKTASI KARARI VE ÇEŞİTLİ DİNAMİKLİKLER
ALTINDA PERFORMANS ANALİZİ**

**Hazırlayan
İpek Nur YİYİT**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Latife GÖRKEMLİ AYKUT**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

İpek Nur YİYİT

YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde İtme Çekme Noktası Kararı ve Çeşitli Dinamiklikler Altında Performans Analizi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

İpek Nur YİYİT

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Latife GÖRKEMLİ AYKUT

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Lale ÖZBAKIR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecim boyunca bana tecrübeleriyle ve bilgi birikimi ile destek sağlayan, yolumu aydınlatan saygıdeğer ve sevgili danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Latife GÖRKEMLİ AYKUT'a, tüm eğitim hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteği bana sunan, arkamda duran canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

İpek Nur YİYİT

Haziran 2022, KAYSERİ



KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE İTME ÇEKME NOKTASI KARARI VE ÇEŞİTLİ DİNAMİKLİKLER ALTINDA PERFORMANS ANALİZİ

İpek Nur YİYİT

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2022
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Latife GÖRKEMLİ AYKUT

ÖZET

Son yıllarda üretim ve tüketimdeki artıştan kaynaklanan yüksek miktarlarda hammadde ihtiyacı, yasal düzenlemeler, çevresel ve ekonomik faktörler kapalı döngü tedarik zinciri yönetimine ilgi duyulmasına neden olmuştur. İleri ve tersine tedarik zincirini bir arada ele alan kapalı döngü tedarik zinciri ağının hem düşük maliyetlerle yönetilmesi hem de müşteri isteklerine hızlı yanıt vermesi beklenmektedir. Ağın etkin planlanması ve kontrolü için tedarik zinciri stratejileri (itme, çekme ve hibrit stratejileri) kullanmak bu faydalara ulaşmaya olanak sağlayacaktır. Geleneksel itme ve çekme tedarik zincirlerinin sağladığı faydalardan aynı anda yararlanabilmek için hibrit tedarik zinciri kullanmak daha avantajlıdır. Fakat burada kilit nokta itme ve çekme süreçlerinin birbirlerinden ayrıldığı itme-çekme sınırı olarak adlandırılan noktanın uygun konumuna karar vermektir.

Bu çalışmada, kapalı döngü tedarik zinciri hizmet sağlayıcıları olarak tedarikçi, fabrika, dağıtım merkezi, toptancı, müşteri, toplama merkezi ve ayırma merkezi dikkate alınmıştır. İtme-çekme sınırının farklı hizmet sağlayıcılarda bulunduğu modeller geliştirerek en etkin konuma karar vermeye çalışılmıştır. Kapalı döngü tedarik zinciri ağının karmaşık ve dinamik olan yapısını etkili bir şekilde yansıtabilmek için modellemede simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Çeşitli faktörlerin itme-çekme sınırının konumuna olan etkisi ve bu faktörler için uygun değerler deney tasarımı yapılarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kapalı Döngü Tedarik Zinciri, Simülasyon, İtme-Çekme Sınırı

PUSH PULL POINT DECISION IN CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN AND PERFORMANCE ANALYSIS UNDER VARIOUS DYNAMICS

İpek Nur YİYİT

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, June 2022

Supervisor: Assistant Professor Latife GÖRKEMLİ AYKUT

ABSTRACT

In recent years, the need for large quantities of raw materials resulting from the increase in production and consumption, as well as legal regulations, environmental and economic factors, have led to a great interest in a closed loop supply chain. A closed-loop supply chain network that handles the forward and reverse supply chains together is expected to be managed at low cost and respond quickly to customer requests. Using supply chain strategies (push, pull, and hybrid) for efficient planning and control of the network will enable these benefits to be achieved. It is more beneficial to use a hybrid supply chain to simultaneously take advantage of traditional push and pull supply chains. However, the key is to decide on the appropriate location of the so-called push-pull boundary where the push and pull processes diverge.

In this study, suppliers, factories, distribution centers, wholesalers, customers, collection points, and recycling facilities are considered as closed loop supply chain service providers. An attempt was made to determine the most efficient location by developing models where the push-pull boundary exists at different service providers. Simulation technique was used in the modeling to effectively reflect the complex and dynamic structure of the closed loop supply chain network. The effects of various factors on the location of the push-pull boundary and the appropriate values for these factors were analyzed through an experimental design.

Keywords: Closed Loop Supply Chain, Simulation, Push-Pull Boundary

İÇİNDEKİLER

KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE İTME ÇEKME NOKTASI KARARI VE ÇEŞİTLİ DİNAMİKLİKLER ALTINDA PERFORMANS ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL ve ONAY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLO LAR LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Tedarik Zinciri.....	4
1.1.1. İleri Tedarik Zinciri.....	5
1.1.2. Tersine Tedarik Zinciri.....	5
1.1.3. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri.....	6
1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi.....	7
1.3. Tedarik Zincirinde İtme, Çekme ve Hibrit Stratejiler.....	8
1.4. Literatür Araştırması.....	10
1.4.1. Üretim Sistemlerinde İtme-Çekme Stratejilerini İnceleyen Çalışmalar	10
1.4.2. İleri Tedarik Zincirinde İtme-Çekme Stratejilerini İnceleyen Çalışmalar.....	13
1.4.3. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde İtme-Çekme Stratejilerini İnceleyen Çalışmalar.....	15

2. BÖLÜM

YÖNTEM ve MATERYAL

2.1. Simülasyon.....	18
2.1.1. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları.....	19
2.1.2. Simülasyonun Uygulama Alanları.....	20
2.1.3. Simülasyon Türleri.....	21
2.1.4. Simülasyon Uygulama Süreci.....	22
2.1.5. Simülasyon Yazılımları	26
2.1.5.1. Arenada Kullanılan Temel Modüller	27
2.2. Deney Tasarımı.....	38
2.2.1. Taguchi Tasarımı	39

3. BÖLÜM

UYGULAMA ve BULGULAR

3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağının Simülasyon ile Modellenmesi.....	41
3.2. Simülasyon Modeli	43
3.2.1 Notasyonlar	43
3.2.2 Algoritma Şemaları	44
3.2.2.1 Çekme Stratejisine Göre Çalışan Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Elemanlarının Algoritma Şemaları	44
3.2.2.2 İtme Stratejisine Göre Çalışan Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Elemanlarının Algoritma Şemaları	55
3.2.2.3 Hibrit İtme-Çekme Stratejisine Göre Çalışan Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Elemanlarının Algoritma Şemaları.....	66
3.3. Sonuçlar.....	67
3.3.1. Taguchi Yöntemi ile Deney Tasarımı	73

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	91

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Tedarik zincirinde itme ve çekme stratejilerinin özellikleri [8]	9
Tablo 3.1 Kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının stratejileri	42
Tablo 3.2 Kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının stok tutma maliyetleri	68
Tablo 3.3 Kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının (s,Q) stok politikası.....	69
Tablo 3.4 Fabrikaya uzaklıklar (kilometre)	69
Tablo 3.5 Toptancıya uzaklıklar (kilometre)	69
Tablo 3.6 Müşterilere uzaklıklar (kilometre).....	69
Tablo 3.7 Ayırma merkezine uzaklıklar (kilometre)	70
Tablo 3.8 8 modele ait maliyet ve kâr bileşenlerinin ortalama değerlerinin gösterimi ..	73
Tablo 3.9 Müşteri taleplerinin ortalama karşılanma süreleri.....	73
Tablo 3.10 L8(2 ⁴) ortogonal dizini	74
Tablo 3.11 Performansı etkileyeceği düşünülen faktörler ve seviyeleri	75
Tablo 3.12 (s,Q) stok politikası 1. ve 2. seviyeleri.....	75
Tablo 3.13 En iyi sonuçlar	83

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Tedarik zinciri aşamaları [2]	4
Şekil 1.2 Tersine tedarik zinciri [4]	6
Şekil 1.3 Kapalı döngü tedarik zinciri [4]	7
Şekil 1.4 Tedarik zincirinde itme-çekme sınırı görünümü [2]	10
Şekil 2.1 Simülasyon uygulama adımları	23
Şekil 2.2 Create modülü gösterimi.....	28
Şekil 2.3 Dispose modülü gösterimi	28
Şekil 2.4 Process modülü gösterimi	29
Şekil 2.5 Decide modülü gösterimi.....	30
Şekil 2.6 Batch modülü gösterimi.....	31
Şekil 2.7 Separate modülü gösterimi.....	32
Şekil 2.8 Assign modülü gösterimi	32
Şekil 2.9 Delay modülü gösterimi	33
Şekil 2.10 Hold modülü gösterimi	34
Şekil 2.11 Enter modülü gösterimi	35
Şekil 2.12 Leave modülü gösterimi	36
Şekil 2.13 Transporter data modülü gösterimi	36
Şekil 2.14 Distance data modülü gösterimi	37
Şekil 2.15 Statistic data modülü gösterimi	37
Şekil 2.16 Bir sistemin ya da sürecin genel gösterimi [46].....	38
Şekil 2.17 Taguchi tasarım yönteminin prosedürü [48].....	39
Şekil 3.1 Çekme stratejisine göre çalışan toptancının algoritma şeması.....	44
Şekil 3.2 Çekme stratejisine göre çalışan dağıtım merkezinin algoritma şeması.....	46
Şekil 3.3 Çekme stratejisine göre çalışan fabrikanın algoritma şeması	47
Şekil 3.4 Çekme stratejisine göre çalışan ayırma merkezinin algoritma şeması.....	49
Şekil 3.5 Çekme stratejisine göre çalışan tedarikçinin algoritma şeması.....	50
Şekil 3.6 Çekme stratejisine göre çalışan toplama merkezinin algoritma şeması	52
Şekil 3.7 Çekme stratejisine göre çalışan müşterinin algoritma şeması.....	54
Şekil 3.8 İtme stratejisine göre çalışan tedarikçinin algoritma şeması.....	55
Şekil 3.9 İtme stratejisine göre çalışan fabrikanın algoritma şeması	57
Şekil 3.10 İtme stratejisine göre çalışan dağıtım merkezinin algoritma şeması	58

Şekil 3.11 İtme stratejisine göre toptancının algoritma şeması	60
Şekil 3.12 İtme stratejisine göre çalışan müşterinin algoritma şeması.....	61
Şekil 3.13 İtme stratejisine göre çalışan toplama merkezinin algoritma şeması.....	63
Şekil 3.14 İtme stratejisine göre çalışan ayırma merkezinin algoritma şeması	64
Şekil 3.15 Hibrit itme-çekme stratejisine göre çalışan fabrikanın algoritma şeması.....	66
Şekil 3.16 Ortalama toplam kâr grafiği	70
Şekil 3.17 Ortalama toplam stok tutma maliyeti grafiği.....	71
Şekil 3.18 Ortalama toplam ceza maliyeti grafiği	71
Şekil 3.19 Ortalama toplam satış kazancı grafiği.....	72
Şekil 3.20 1. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği.....	76
Şekil 3.21 2. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği.....	77
Şekil 3.22 3. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği.....	78
Şekil 3.23 4. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği.....	78
Şekil 3.24 5. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği.....	79
Şekil 3.25 6. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği.....	80
Şekil 3.26 7. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği.....	81
Şekil 3.27 8. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği.....	82

GİRİŞ

Tedarik zinciri yönetimi son yıllarda hem sektörde hem de literatürde ilgi odağı haline gelmiştir. Entegrasyonun sağlandığı durumlarda başarının kaçınılmaz olduğunu gören birçok işletme tedarik zinciri yönetimine yönelmiştir.

Etkili bir tedarik zinciri yönetimi, günümüz rekabetçi ortamında öne çıkmayı ve maliyetleri azaltmayı sağlayacaktır. Hızla değişen piyasanın dinamik yapısı tedarik zincirini kontrol edebilme noktasında önemli bir sorundur. Bu sorunu ortadan kaldırmak ve tedarik zincirini etkili bir hale getirmek için doğru kontrol stratejileri kullanmak esastır.

Bu tezde, ileri akışta tedarikçi, fabrika, dağıtım merkezi, toptancı ve müşterinin yer aldığı tersine akışta ise toplama merkezi, ayırma merkezi ve atık alanının yer aldığı kapalı döngü tedarik zinciri ağı ele alınmıştır. Çevre kirliliğinin artması, kanuni zorunluluklar ve ekonomik nedenler göz önüne alındığında ekonomik ömrü tamamlanmış ürünlerin yeniden ekonomiye kazandırılmasının öneminin artması ile kapalı döngü tedarik zinciri ortaya çıkmıştır. Zaten karmaşık olan tedarik zinciri yapısı geri dönen ürünlerin tekrar sisteme dahil edilmesi ile daha da karmaşık bir boyuta ulaşmaktadır. Bu karmaşıklığın ve var olan belirsizliklerin üstesinden gelebilmek için sürecin stratejik olarak doğru yönetilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir.

Tez çalışmasında kapalı döngü tedarik zinciri ağının modellenmesi simülasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Modellenen kapalı döngü tedarik zinciri ağında depozitolu bir ürünün müşteriler tarafından kullanıldıktan sonra toplama merkezleri aracılığı ile toplanıp sisteme tekrar dahil edilmesi söz konusudur. Amaç, müşteri taleplerine hızlı bir şekilde cevap verilirken aynı zamanda stok miktarlarını minimum düzeyde tutmaktır. Bu amaç doğrultusunda, itme, çekme ve hibrit stratejilerin kullanıldığı modeller kurulmuştur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, geleneksel tedarik zinciri yönetiminde çekme stratejisinin itme stratejisine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Benzer şekilde hibrit itme-çekme stratejisini ele alan çalışmalar incelendiğinde, hibrit modeller ile elde edilen sonuçların saf çekme ve saf itmeye göre daha iyi olduğu görülmüştür. Hibrit itme-çekme stratejisinin kullanıldığı durumlarda ise itme stratejisinden çekme stratejisine geçildiği nokta yani itme-çekme sınırının konumunun belirlenmesi kritik bir karardır. Bu çalışmada, itme-çekme sınırının uygun konumunu belirlemek için saf itme, saf çekme ve itme-çekme sınırının farklı konumlarda bulunduğu altı model olmak üzere toplamda sekiz model kurulmuştur.

Simülasyon ile modelleme yapılarak matematiksel modellemede çoğu zaman göz ardı edilen taşıma süresi, üretim süresi, ürün kullanım süresi, ayrıştırma süresi gibi modelin sonuçlarını doğrudan etkileyecek olan ve gerçekçi bir çözüme ulaşılmasında fayda sağlayacak olan parametreler modele dahil edilmiştir. Performans ölçütü olarak; toplam satış ve hurda kazançlarından stok tutma, taşıma, hammadde satın alma, üretim ve geri toplama maliyetlerinin çıkarılmasıyla elde edilen toplam kâr ve müşteri talebi karşılama süreleri alınmıştır.

Diğer yandan sistemde talep, ürün kullanım süreleri dinamik bir şekilde ele alınmıştır. Kurulan modeller üzerinden yapılan çalışmalarla sistemin yapısını etkilediği düşünülen dört faktör dikkate alınarak sonuçlar analiz edilmiştir. Bunlar; talep miktarlarındaki değişkenlik, stok politikası, hammadde tedarik politikası ve araç sayısıdır. Bu faktörlerin sistem üzerindeki etki düzeylerini analiz etmek ve faktörler için etkin değerler belirlemek üzere Taguchi yöntemi ile deney tasarımı yapılmıştır.

Sonuç olarak bu tezde kapalı döngü tedarik zinciri ağını dinamik talep ve dinamik kullanım altında toplam kârı en büyükecek şekilde yöneten strateji, simülasyon ile modelleme yapılarak bulunmuştur.

Tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, tedarik zincirinin genel çerçevesi hakkında bilgi verildikten sonra geleneksel ileri akışı ve tersine akışı bir arada ele alan ve bu tez çalışmasında kullanılmış olan kapalı döngü tedarik zinciri ağ yapısı anlatılmıştır. Ardından, itme, çekme ve hibrit stratejilerin tedarik zinciri yönetiminde kritik bir rol oynadığı vurgulanmış ve literatürde tedarik zincirinde itme, çekme ve hibrit stratejileri konu alan çalışmalar ile itme-çekme sınırının konumunu araştıran çalışmalar

hakkında özet bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, uygulamada kullanılan yöntem olan simülasyon ile modelleme konusu üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde, itme ve çekme stratejileri gözetilerek modellenen kapalı döngü tedarik zinciri ağ yapısı anlatılmıştır. Yapılan deney tasarımı gözetilerek elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve faktörler için uygun seviyeler belirlenmiştir. Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



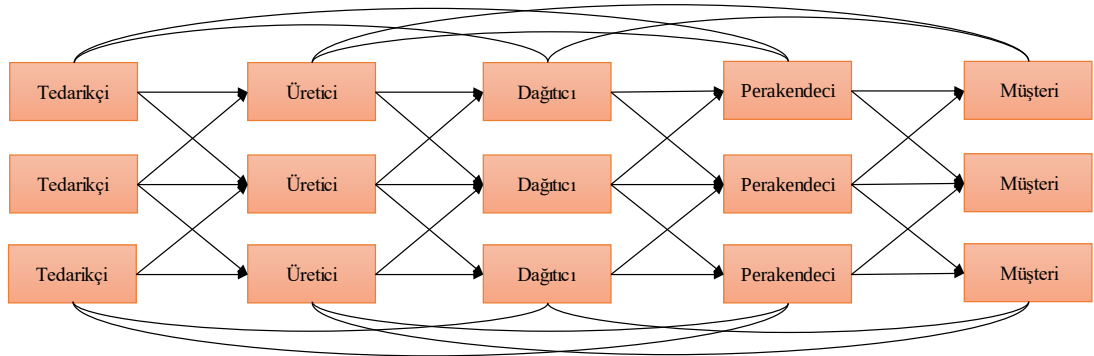
1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri, malzemelerin tedarik edilmesi, tedarik edilen malzemelerin ara ve nihai ürünlere dönüştürülmesi ve bu nihai ürünlerin müşterilere dağıtılması işlevlerini yerine getiren bir ağıdır [1]. Süreç bakımından incelendiğinde tedarik zinciri; üretim, stok yönetimi, malzeme temini, talep tahmini, satış, dağıtım, müşteri hizmetleri vb. birçok süreci kapsamaktadır.

Sektörler ve firmalar değiştikçe yönetim felsefesi ve tedarik zinciri aşamaları da değişebilir. Fakat genel bir tedarik zinciri tedarikçi, üretici, dağıtıcı, perakendeci ve müşteri aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamalar ürünlerin, dağıtım politikalarının değişmesiyle farklılık gösterebilir. Şekil 1.1’de tedarik zinciri aşamaları verilmiştir.



Şekil 1.1 Tedarik zinciri aşamaları [2]

Tedarik zinciri ağları; ileri, tersine ve kapalı döngü olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

1.1.1. İleri Tedarik Zinciri

Tedarikçi tarafından temin edilen hammaddelerin üretici tarafından nihai ürüne dönüştürüldükten sonra dağıtıcılar ve perakendeciler aracılığıyla müşteriye ulaştırılması ileri diğer bir deyişle seri tedarik zincirini ifade eder. Şekil 1.1’de verilmiş olan ağ yapısı ileri tedarik zincirine aittir.

1.1.2. Tersine Tedarik Zinciri

Günümüzde yaşanan ekonomik endişeler ve devlet tarafından koyulan yasalar tersine tedarik zinciri faaliyetlerini artırmıştır. Tersine tedarik zinciri, geri dönüşüm ürünlerinden yeniden değer elde etmek, iade edilen ve ömürleri dolmuş ürünleri tamir ederek ekonomiye kazandırmak ya da uygun biçimde bertaraf etmek için müşteriden tedarikçiye doğru tersine akışı ifade eden ağdır.

Ürün geri dönüş sebepleri ayrıntılı olarak aşağıda sıralanmıştır [3].

Üretici Dönüşleri

- ✓ Ürünün üretim fazlası olması.
- ✓ Ürünün kalite kontrolde başarısız olması,
- ✓ Ürünün hammadde fazlası olması,

Dağıtıcı Dönüşleri

- ✓ Teslimatın hasarlı veya yanlış gerçekleştirilmesi,
- ✓ Ürünlerin kullanım süresinin geçmesi,
- ✓ Satılmamış veya stok fazlası ürünler,
- ✓ Stok ayarlamaları, mevsimsel dalgalanmalar.

Müşteri Dönüşleri

- ✓ Ürünlerin tamir işleminden geçirildikten sonra tekrar kullanımı,
- ✓ Garanti kapsamı içindeki geri dönüşler,
- ✓ Kullanım sonu dönüşleri (ikinci el olarak satılması),
- ✓ Ürünün değer kazanması (hurda ve diğer kazanım seçeneklerini değerlendirme),
- ✓ Kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin geri dönüşleri,

- ✓ Ürünün hasarlı olması
- ✓ Ürün içindeki zararlı materyallerin yasal düzenlemeler sebebiyle dönüşleri,

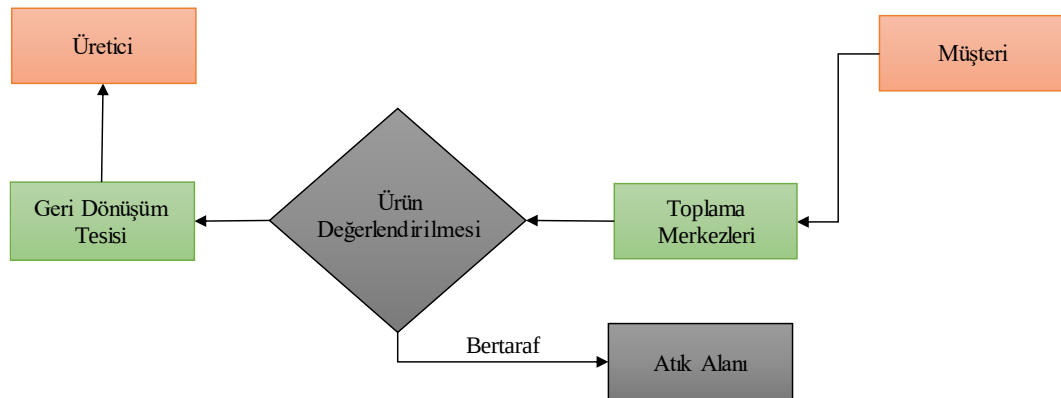
Fonksiyonel Dönüşler

- ✓ Kutu, paket, palet, paketlenme materyalleri, konteynır, cam şişe vb. ürünlerin yeniden kullanılabilecek olması sebebiyle dönüşler.

Üreticinin Ürünleri Geri Çağırması

- ✓ Üründeki güvenlik, hata ya da sağlık problemleri sebebiyle üreticinin ürünü geri çağırması.

Toplama merkezlerine müşterilerden ürünlerin geri dönmesi ile başlayan tersine tedarik zinciri ağı geri dönüşüm tesisinde geri dönen ürünlerin incelenmesi, tamiri ve yeniden kullanılabilecek bileşenlere dönüştürülme işlemleri yapılması ile ilerler. Daha sonrasında geri kazanılan bileşen ve malzemeler ileri tedarik zinciri ile tekrar müşteriye ulaştırılır. Bertaraf edilmesine karar verilen ürünler ise atık tesislerinde uygun biçimde yok edilir. Bu ağ yapısı ile hammadde tüketimi ve atık maliyetleri azalmakta bu sayede firmalara doğrudan fayda sağlamaktadır. Şekil 1.2’de tersine tedarik zinciri ağ yapısı verilmiştir.



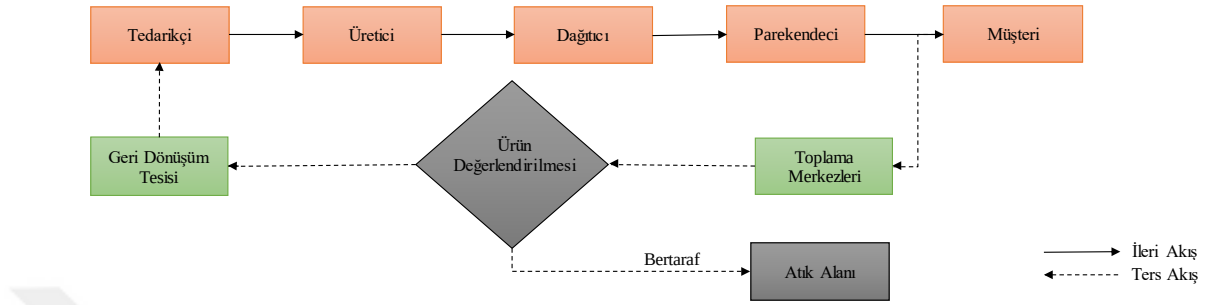
Şekil 1.2 Tersine tedarik zinciri [4]

1.1.3. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

Kapalı döngü tedarik zinciri, hammaddelerin tedarikçiden üreticiye ulaştırılıp nihai ürün haline getirmesinden dağıtım kanalları ile son tüketiciye kadar ulaştırılmasını konu alan

ileri tedarik zinciri ve çeşitli nedenlerden dolayı son tüketiciden iade edilen ürünlerin geri kazanımını ya da bertarafını ele alan tersine tedarik zincirini birlikte ele alan ağıdır.

Kapalı döngü tedarik zinciri ağı Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3 Kapalı döngü tedarik zinciri [4]

Son yıllarda, kapalı döngü tedarik zincirleri hem sektörde hem de akademide büyük ilgi görmektedir [5]. Bunun nedeni sürdürülebilirliği geliştirmek için büyük bir fırsat olmasıdır. Geri dönen ürünlere durumlarına göre tamir, ürün yenileme, yeniden imalat, parça alma, geri dönüşüm gibi geri kazanım seçenekleri uygulanır. Geri kazanım seçenekleri uygulanamayacak durumda olan ürünler ise bertaraf edilir [6].

1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi 1960'lı yıllardan günümüze kadar ulaşan bir kavramdır. Artan rekabet koşulları ile birlikte zaman ve maliyet kavramları son derece önem kazanmıştır. Tedarik zinciri yönetim felsefesi sayesinde ürünlerin müşteriye yüksek hizmet seviyesinde ve mümkün olduğunca şeffaf şekilde ulaşması mümkün kılınmaktadır. Literatürde tedarik zinciri yönetimi ile ilgili birçok tanım bulunmaktadır.

Chopra'ya [2] göre tedarik zinciri yönetimi, toplam tedarik zincirinin kâr düzeyini en üst noktaya çıkarmak için tedarik zinciri elemanları arasındaki akışların en doğru şekilde yönetilmesidir.

Tedarik zinciri yönetimi, tedarikçilerden üreticilere, nihai montajcılardan dağıtıma (depolar ve perakendeciler) ve nihai olarak tüm tedarik zinciri boyunca malzeme, bilgi ve para akışının operasyonel yönetimini tanımlamak için kullanılan bir terimdir [7].

Kısaca özetlersek tedarik zinciri yönetimi, ürünlerin düşük maliyet ile doğru miktarlarda üretilmesi ve doğru zamanda müşteriye ulaştırılması için malzeme, bilgi ve para akışını yöneten bir sistemdir.

Gelişen ve büyüyen dünyada rekabetin ve tüketimin artması ile malzeme, ürün, bilgi ve para akışının doğru ve güvenilir şekilde yürütülmesi hedefleyen ağ tasarımının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Tedarik zincirinde ağ tasarımı yapılırken kullanılacak stratejilerin seçimi verimliliği ve etkinliği artırmada oldukça etkilidir.

Etkin bir tedarik zinciri yönetimi;

- ✓ Toplam maliyeti azaltır,
- ✓ Bilgi, malzeme ve para akışını tüm tedarik zinciri elemanları tarafından yönetilebilmesini ve şeffaflığı sağlar,
- ✓ Tedarik süresini kısaltır ve böylelikle piyasadaki değişimlere hızlı yanıt verilmesini sağlar,
- ✓ Müşteri hizmet düzeyini artırır,
- ✓ Teknolojiyi tüm zincire entegre etmeye yönelik katkılar sağlar.

Etkin bir tedarik zinciri ağını tasarlayabilmenin ve yönetebilmenin yolu doğru stratejileri kullanmaktan geçer. Tedarik zinciri yönetiminde kullanılan stratejiler üç başlık altında incelenmiştir: itme, çekme ve hibrit.

1.3. Tedarik Zincirinde İtme, Çekme ve Hibrit Stratejiler

Etkili bir tedarik zinciri yönetim felsefesinde stratejik planlar büyük önem arz etmektedir. Tedarik zincirinde farklı dinamiklikler mevcuttur. Bunlar;

- ✓ Talep değişkenliği,
- ✓ Envanter miktarı değişkenliği,
- ✓ Teslim süresi değişkenliği vb.

şeklinde sıralanabilir. Tedarik zincirinin durumuna göre itme, çekme veya hibrit stratejiler kullanılabilir.

İtme tabanlı bir tedarik zincirinde, üretici geçmiş dönemlerden yola çıkarak tahmine dayalı üretim yapar. Bu da büyük miktarlarda stoklara neden olur. Stok miktarlarının fazla

olması yüksek maliyetlere yol açar. Diğer yandan itme tabanlı tedarik zinciri pazardaki değişime hızlı cevap veremez. Bu durum müşteri hizmet düzeyinin düşük olmasına sebep olur. Talep belirsizliğinin daha düşük olduğu ya da maliyeti düşürmede ölçek ekonomisi yüksek öneme sahip olan ürünler için itme stratejisi uygulanması daha etkili olacaktır [8].

Çekme tabanlı bir tedarik zincirinde ise süreç müşteri talebinin gelmesi ile başlar. Talebe göre üretim yapıldığı için stok miktarları düşük olur. Bu sebeple tedarik zincirinde çekme stratejisi uygulamak avantajlı gözüktse de tedarik süresinin uzun olduğu durumlarda bu stratejiyi uygulamak zordur. Diğer bir dezavantaj ise çekme stratejisinde üretim ve dağıtım kararları müşteri talebine yanıt olarak alındığından etkin taşıma yöntemlerini kullanmak ve ölçek ekonomisinden yararlanmak zor olmaktadır [8].

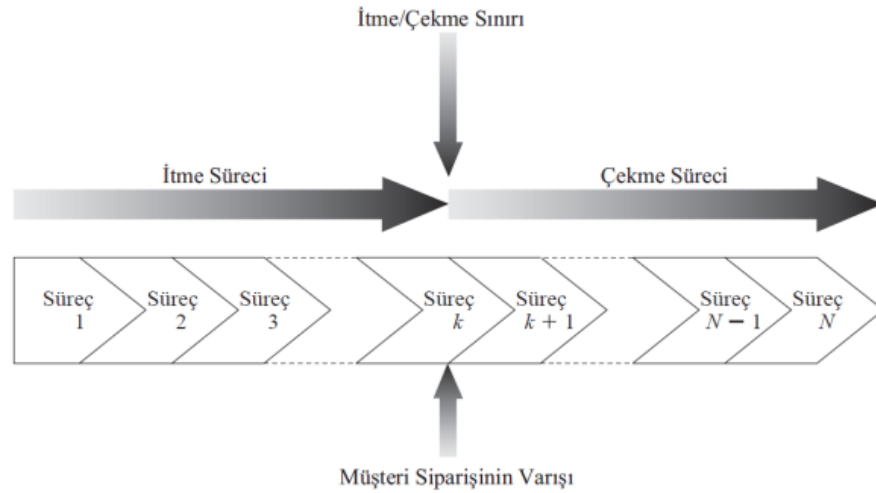
Tedarik zincirinde itme ve çekme stratejilerinin özellikleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1 Tedarik zincirinde itme ve çekme stratejilerinin özellikleri [8]

	İtme	Çekme
Amaç	Düşük maliyet	Yüksek hizmet düzeyi
Karmaşıklık	Yüksek	Düşük
Odak	Kaynak tahsisi	Cevap verme
Teslim süresi	Uzun	Kısa
Süreçler	Taktiksel planlama	Sipariş karşılama

Tablo incelendiğinde çekme stratejisi uygulanan bir tedarik zincirinde yüksek hizmet düzeyi amaçlanmaktadır. Odak noktası cevap verme olduğundan sipariş karşılama süreci uygulanır. İtme stratejisi uygulanan bir tedarik zincirinde ise düşük maliyet ve kaynak tahsisine odaklanılmaktadır, bu nedenle etkili bir taktiksel planlama süreci kullanılır.

İtme ve çekme stratejilerinin dezavantajları sebebiyle şirketler yeni bir tedarik zinciri stratejisi aramaya yönelmiştir. İki sistemin melezi olan hibrit itme-çekme stratejisinde, genellikle tedarik zincirinin başlangıç aşamaları itme stratejisi ile geri kalan aşamaları ise çekme stratejisine göre çalışır. İtme stratejisine göre çalışan aşamalar ile çekme stratejisine göre çalışan aşamaların birleşim noktasına literatürde itme-çekme sınırı denmektedir. Literatürde bu sınırı tanımlamak için başka bir ifade olan müşteri sipariş ayrılma noktası da kullanılmaktadır. Şekil 1.4’te itme-çekme sınırının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.4 Tedarik zincirinde itme-çekme sınırı görünümü [2]

Literatürde itme, çekme ve hibrit stratejilerinin karşılaştırılmalı analizinin yapıldığı ve itme-çekme sınırının konumuna karar vermek için yapılan çalışmaların özeti literatür araştırması bölümünde verilmiştir.

1.4. Literatür Araştırması

Literatür araştırması kapsamında itme-çekme stratejilerini konu alan çalışmalar üç bölümde incelenmiştir.

1.4.1. Üretim Sistemlerinde İtme-Çekme Stratejilerini İnceleyen Çalışmalar

Cochran ve Kim [9] yaptıkları çalışmada ileri bir hibrit itme-çekme üretim sisteminin optimizasyon modelini oluşturmuşlardır. Üç karar değişkeni vardır: bağlantı noktası, yani itme-çekme sınırı; bağlantı noktasındaki emniyet stoku seviyesi, çekme alt sistemindeki her aşama için kanban sayısı. Kontrol stratejisinin optimum karar değişkenlerini bulmak için çözüm tekniği olarak benzetilmiş tavlama kullanılmıştır.

Lann vd. [10] yaptıkları çalışmada imalat ve yeniden imalat süreçleri olan bir sistemde teslim süresi ve teslim süresi değişkenliğinin toplam maliyetlere olan etkilerini araştırmışlardır. Sistemde kontrol stratejisi olarak itme-çekme stratejileri uygulanmıştır. Sayısal çalışmada, teslim süresi değişkenini sabit tutarak stokastik yeniden üretim teslim süresi ve stokastik üretim teslim süresi değişkenlerinin farklı değerler aldığı ve kontrol stratejilerinin değiştiği 6 deney gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Beamon ve Bermudo [11] yaptıkları çalışmada çok aşamalı, çok hatlı üretim sistemleri için hibrit bir itme-çekme kontrol algoritması geliştirilmiştir. Algoritmayı çıktı miktarı, teslim süresi ve süreç içi stok miktarı ölçütlerine göre test etmek için Arena simülasyon programında modelleme yapılmıştır. Algoritmanın toplam çıktı miktarını arttırdığı, bekleme süresini ve süreç içi stok miktarını da büyük ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir.

Yan vd. [12] yaptıkları çalışmada belirsiz bir ortamda çeşitli üretim kontrol stratejilerinin sağlamlığını araştırmışlardır. Toplamda 4 kontrol stratejisini ele almışlardır. Bunlar; düzgün dağılıma göre yükleme, süreç içi stok kontrolü, süreçten darboğaz kontrolü, itme-çekme kontrol stratejisi. Simülasyon deneyleri yaparak makine arızaları, talep değişikliği gibi kesintiler meydana geldiğinde itme-çekme stratejisinin daha sağlam olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Corry ve Kozan [13] hibrit bir itme-çekme stratejisinin bileşen üretimi ve montaj işlemleri arasındaki birleşim noktasında bulunan emniyet stoku ve yeniden sipariş düzeyi miktarının bulunmasını amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sezgisel olarak kontrol edilen simülasyonlar önermektedir. Sayısal analizler ile önerilen yöntemler karşılaştırılmıştır.

Teeravaraprug ve Stapholdecha [14] çalışmalarında çekme, itme ve hibrit sistemlerin performans analizini ideal sistemde ve rastgeleliği dikkate alan sistemde olmak üzere iki farklı durum için yapmışlardır. Performans ölçütü olarak süreç içi stok miktarı ve ürünün teslim süresi baz alınmıştır. Sayısal analiz simülasyon yöntemi ile Arena simülasyon programında yapılmıştır. İdeal sistemde, itme sisteminin en verimli olan sistem olduğu sonucu elde edilmiştir. Rastgeleliği dikkate alan durumda ise çıktı yüzdesi düşük olduğunda bir itme sisteminin verimli bir sistem olduğu, çıktı yüzdesi yüksek olduğunda çekme sisteminin daha iyi bir sistem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Chiadamrong vd. [15]'nin yaptıkları çalışmada akış tipi üretim sistemi için karar destek aracı geliştirilmiş ve genetik algoritma ile birleştirilmiş simülasyon kullanılarak itme ve çekme stratejilerinin kâr düzeyine olan etkileri ayrıca itme-çekme stratejilerinin güçlü ve zayıf yönleri incelenmiştir. Çekme sisteminin daha yüksek düzeyde müşteri talebini karşılama yeteneğinin yanı sıra daha kısa teslim süresi sağlamasından dolayı çok daha yüksek gelir getirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Ghrayeb vd. [16] yaptıkları çalışmada siparişe göre üretim ortamında düşük stok maliyeti ve düşük teslim süresini amaçlayan bir model geliştirilmiştir. Çözüm tekniği olarak genetik algoritma kullanılmıştır ve simüle edilmiştir. Simülasyon deneylerinde saf itme, çekme ve hibrit itme-çekme sistemlerinin performanslarını karşılaştırmak için müşteri siparişi teslimleri arasındaki zaman katsayısı ile sipariş teslim süresi ve envanterin çeşitli maliyet oranları üzerine duyarlılık analizi yapılmıştır. Hibrit sistem en iyi sonuçları vermiştir.

Cheraghi vd. [17] yaptıkları çalışmada, bilgisayar simülasyonu kullanarak, karmaşık bir fabrika kurulumu için 7 farklı üretim kontrol sisteminin karşılaştırmalı analizini sunmuşlardır. Modelde girdi parametreleri olarak parti büyüklüğü, bakım tipi, varış zamanı ve varış hızı kullanılmış, sistem performansının çıktı parametreleri olarak ise süreç içi stok miktarı ve çıktı miktarı kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda; süreç içi stok miktarı göz önünde bulundurulduğunda çekme temelli bir sistemin, itme temelli bir sistemden daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan simülasyon, tek bir üretim kontrol sisteminin hiçbir koşulda en iyi olmadığını göstermiştir. Çalışma sonucunda girdi parametre değerleri ve fabrika kurulum türü dikkate alınmadan bir stratejinin diğerine göre üstünlüğü hakkında yorum yapmanın bir anlamı olmadığı sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla üretim kontrol sisteminin performansını etkileyen faktörlerin sadece üretim stratejisinin türlerine bağlı olmadığı aynı zamanda girdi parametrelerinin değerlerine de bağlı olduğu yorumu yapılmıştır.

Lu vd. [18] yaptıkları çalışmada çok aşamalı stokastik üretim sisteminde itme-çekme sınırının konumuna çok kriterli karar verme (TOPSİS yönetimi) ile karar vermişlerdir. Hizmet düzeyi ve stok miktarlarını test etmek için Arena programında simülasyon deneyleri yapılmıştır. Yeni hibrit itme-çekme sisteminin performansı hizmet seviyesi, envanter seviyesi ve teslim süresi ölçütlerine göre analiz edilmiştir.

Puchkova vd. [19] yaptıkları çalışmada çekme ve itme üretim kontrol stratejileri arasında denge sağlamak için bir yaklaşım sunmuşlardır. Bir üretim sisteminde kaynakların bozulması, kalite kaybı, kesinti olmaması gibi durumları kapsayan ve bu durumlardan kaynaklı maliyetleri en küçükleyen bir matematiksel model önerilmiştir. Yaklaşım örnek üzerinde uygulanmış, sonuçlarda; kaynakların bozulması veya kesinti olmaması durumunda çekme stratejisinin, kalite kaybı olması durumunda itme stratejisinin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

1.4.2. İleri Tedarik Zincirinde İtme-Çekme Stratejilerini İnceleyen Çalışmalar

Takahashi ve Nakamura'nın [20] yaptıkları çalışmada tedarik zinciri sistemi modeli oluşturulmuş ve üç kontrol mekanizmasının (itme, çekme ve hibrit) matematiksel modeli formüle edilmiştir. Üç kontrol mekanizması için, her bir süreçteki işlem miktarlarının değişimi ve her bir stok noktasındaki stok düzeylerinin değişimi performans ölçütü olarak analiz edilmiştir. Sayısal hesaplamalar ile önerilen hibrit kontrol mekanizmasının itme ve çekme kontrol mekanizmalarından daha üstün olduğu görülmüştür.

Masuchun vd. [21] yaptıkları çalışmada ileri bir tedarik zincirinde itme ve çekme stratejilerinin performanslarını simülasyon çalışması altında incelemişlerdir. Sonuçlar, itme ve çekme stratejilerinin tahmin hatası ve envanter seviyelerini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Müşteri hizmet düzeyi ve üretilen ürün miktarı göz önüne alındığında itme stratejisinin çekmeden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Toplam envanter göz önüne alındığında ise çekme stratejisinin uygulanması daha iyi performans göstermiştir.

Ahn ve Kaminsky [22] yaptıkları çalışmada iki aşamalı stokastik itme-çekme tedarik zincirinde üretim-dağıtım modeli geliştirmişlerdir. Üretim, nakliye ve elde tutma maliyetlerinin toplamını en aza indirmek amaçlanmıştır. Sezgisel sipariş miktarı değerleri kullanılarak modelin performansı analiz edilmiştir.

Kundu vd. [23] yaptıkları çalışmada bilgiye dayalı bir yaklaşım ile tedarik zincirlerinde itme-çekme sınırının seçimini konu almışlardır. Çalışmada bir bilgi modeli kurulmuş ve itme-çekme sınırı 7 alternatif noktada konumlandırılmıştır. Vaka çalışması yapılarak elde edilen sonuçlarda parametre değerleri değiştikçe birim maliyetin ve tedarik süresinin nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Dev vd. [24] yaptıkları çalışmada 3 tedarikçi, 1 üretici, 2 depo ve 4 perakendeciden oluşan ileri bir tedarik zincirinde Arena simülasyon yazılımına C++ programlama dilini entegre ederek modeller geliştirmişlerdir. İtme-çekme sınırı, envanter sipariş politikası, tahmin hatası, talep, teslim süresi ve bunların standart sapmalarından oluşan 5 faktörlü 4 seviyeli $L_{16}(4^5)$ ortogonal dizini kullanarak Taguchi yöntemi ile deney tasarımı çalışması gerçekleştirmişlerdir. Performans ölçütü olarak toplam maliyetin göz önüne alındığı deneyler sonucunda, optimum performansı gösteren uygun kombinasyona ulaşılmıştır.

Mahapatra vd. [25] yaptıkları çalışmada üç aşamalı bir tedarik zincirinde stoğa üretilen bir ürün için çekme ve hibrit kontrol stratejilerinin performansını araştırmışlardır. Her bir üretim stratejisinin etkisini talep belirsizliği ve teslim süresi değişkenliği ile çeşitli koşullar altında incelemek için Arena programında simülasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları işletme politikasını belirlerken belirsizlik düzeyinin, envanter kontrol politikasının ve ilgili performans ölçümlerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Kim vd. [26] yaptıkları çalışmada ileri tedarik zincirinde itme-çekme sınırından sonra ilave stok noktaları içeren hibrit bir itme-çekme stratejisi sunmuşlardır. Doğrusal olmayan, karışık tamsayılı programlama modeli oluşturulmuş ve çözüm tekniği olarak farklı tedarik zinciri stratejilerinin karşılaştırılması için benzetilmiş tavlama kullanılmıştır. Sayısal deneyler ile oluşturulan modelin geleneksel itme-çekme ve yalnızca itme modellerinden daha sağlam ve daha düşük maliyetli çözümler oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Huang ve Huang [27] yaptıkları çalışmada demir ve çelik hurdalarının yeniden kullanım sürecinin yapısını ve işleyişini analiz ederek yaşanan sorunları etkili tedarik zinciri yönetimi ile ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. İtme stratejisi kullanarak demir ve çelik hurdalarını geri kazanacak, çekme stratejisi ile piyasa talebini karşılayacak hibrit itme-çekme tedarik zinciri kurmuşlardır. Sonuçlar, kurulan itme-çekme tedarik zincirinin demir ve çelik hurda geri dönüşüm sürecinde ekonomik ve çevresel anlamda etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Guajia ve Dingwei [28] yaptıkları çalışmada çok kademeli envanter sistemi için RFID içeren saf itme, saf çekme ve hibrit itme-çekme kontrol stratejilerini tasarlamışlardır. Hibrit stratejide üreticiler itme stratejisi ile kontrol edilmektedir, dağıtıcılar ve perakendeciler RFID elektronik kanban sistemine dayalı çekme stratejisi ile kontrol edilmektedir. Ayrık olay simülasyonu kullanılarak tasarlanan modellerin sonuçları toplam stok maliyeti, yok satma miktarı ve stok devir hızı performans göstergeleri üzerinden incelenmiştir. Sonuçlar, hibrit kontrol stratejisinin üç strateji arasında en iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Chen vd. [29] yaptıkları çalışmada yarı iletken endüstrisindeki bir cihaz üreticisi için entegre bir tedarik zinciri planlama modeli geliştirmişlerdir. Model, karar vericilerin

çeşitli konumlardaki üretim miktarlarını ve teslimat miktarlarını, itme-çekme tedarik zincirinin ayrılma noktasını, sınırdaki envanter tamponunu belirlemek için geliştirilmiştir. Tedarik zinciri planlanmasının optimizasyonu için matematiksel modelleme kullanılmış ve kurulan karma tam sayılı matematiksel model Lingo programı ile çözdürülmüştür. Modelden edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Iacocca ve Liberatore [30] yaptıkları çalışmada erteleme hizmet sektörüne uygulanıp uygulanamayacağı ve uygulanabiliyorsa itme-çekme sınırının konumunun nerede olacağını araştırmışlardır. Fiyat, maliyet, talep, değişkenlik gibi konuları göz önünde bulundurarak tedarik zinciri için optimal erteleme düzeyini ve optimum itme-çekme noktası kararına gazete satıcısı modeli kullanarak ulaşılmıştır. Aynı zamanda bu çalışma, hizmet şirketlerinin artan yanıt verme hızı ile artan maliyetler arasındaki dengeyi nasıl sağlayabileceğini göstermektedir.

Lin vd. [31] yaptıkları ileri bir tedarik zincirinde itme-çekme stratejilerini kullanarak teslimat süresini düşürmeyi hedef alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada tedarik zinciri performansını etkilemede önemli bir rol oynayan sistem dinamiği kullanılmıştır. Sonuçlarda teslimat süresi değişkenliğinin yeterli müşteri siparişi ayrıştırma noktası stokuna sahip hibrit itme-çekme modeli ile en aza indirilebileceği görülmüştür.

Pournamazi vd. [32] yaptıkları çalışmada kararsız bulanık bir ortamda itme-çekme sınırını konumlandırmayı amaçlamışlardır. Uygun konumu belirlemek için Analitik Ağ Süreci (ANP) ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VIKOR) ile hibrit çok kriterli karar verme metodolojisi önerilmiştir. Önerilen yöntemi analiz etmek için bir giyim tedarik zincirinde uygulama yapılmıştır. 9 adet alternatif itme-çekme sınırının bulunduğu tedarik zincirinde, karar faktörleri olarak tedarikçi esnekliği, teslimat süresi, teslimat güvenilirliği, müşteri teslim süresi, üretim kritik noktaları, üretim esnekliği, ürün karmaşıklığı, ürün özellikleri alınmıştır. Bu faktörler doğrultusunda en uygun itme-çekme sınırı konumu belirlenmiştir.

1.4.3. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde İtme-Çekme Stratejilerini İnceleyen Çalışmalar

Abbey vd. [33] yaptıkları çalışmada ürünlerin birden fazla yaşam döngüsüne sahip olduğu durumda yaşanan sorunlara (yeniden üretim sebebiyle yaşanan hat tıkanıklığı; uzun

teslim süreleri, yüksek envanter seviyeleri ve düşük müşteri hizmet seviyelerine yol açmaktadır) çözüm olarak gecikmeli farklılaşma modeli sunmuşlardır. Gecikmeli farklılaşma modeli kullanarak itme-çekme sınırını dinamik şekilde değiştirerek maliyetlerde ve değişen müşteri taleplerinin karşılanmasında esneklik sağlanmıştır. Çalışmada önerilen model, hem itme-çekme sınırının dinamik yapısını hem de tam sayılı doğrusal programlama içermektedir. İtme-çekme sınırının konumu değiştirilerek 4 farklı senaryo oluşturulmuş ve her senaryonun çıktıları analiz edilmiştir. Sonuç olarak, ürün çoğalmasının ve talep değişkenliğinin olduğu bir sistemde önerilen gecikmeli farklılaşma modeli sistemin esnekliğinde ve maliyetlerde önemli bir fark ortaya çıkarmıştır.

Lin vd. [34] yaptıkları çalışmada itme ve çekme kontrollü yeniden üretimi içeren kapalı döngü tedarik zincirinin doğrusal olmayan bir sistem dinamiği modelini geliştirmişlerdir. Model; teslim sürelerinin, geri besleme döngülerinin, kontrol politikalarının, tahminlerin, talep sıklığının, geri dönüş oranının ve geri dönüş gecikmesinin etkilerini gösteren analitik sonuçları vermiştir. Bu sonuçlar itme ve çekme kontrollü yeniden üretim için karşılaştırılmıştır. Ürün geri dönüş oranının ve talep sıklığının modelin anahtar parametreleri olduğu ve itme-çekme politikalarının seçiminde önemli rol oynadığını sonucuna varılmıştır.

Literatür incelendiğinde, kapalı döngü tedarik zincirinde itme, çekme stratejilerini konu alan çalışmaların sayısı üretim sistemlerinde ve ileri tedarik zincirinde yapılmış çalışmalara göre oldukça azdır. İleri tedarik zincirlerine göre daha karmaşık yapıya sahip olan kapalı döngü tedarik zincirlerinde itme-çekme sınırının etkin belirlenmesi önemlidir. Bundan dolayı tez çalışmasında kapalı döngü tedarik zinciri ele alınmıştır.

Kapalı döngü tedarik zincirinde itme-çekme stratejilerini konu alan çalışmalardan ilki olan Abbey vd. tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak, bu çalışmada simülasyon yöntemi kullanılmıştır ve bahsedilen çalışmada göz ardı edilen taşıma süresi, üretim süresi, ürün kullanım süresi, stok tutma maliyeti, üretim maliyeti gibi parametreler modele dahil edilmiştir. Lin vd. tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak modele taşıma süresi, stok tutma maliyeti, karşılanamayan talepten kaynaklanan ceza maliyeti gibi parametreler dahil edilmiş ve saf itme, saf çekme stratejilerinin yanı sıra itme-çekme sınırının konumunun değiştirilmesi ile 6 hibrit model, toplamda 8 model geliştirilmiştir. Sistemi etkilediği düşünülen faktörlerin etki düzeylerini görebilmek ve faktörler için

uygun değerleri belirlemek için Taguchi yöntemi ile deney tasarımı yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir.



2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Simülasyon

Simülasyon kavramı 14. yüzyıldan beri Latince’de kullanılan “simulare” kelimesinden türetilmiştir. Etimolojisi incelendiğinde “taklit, benzer” anlamına geldiği görülmektedir [35]. Bu terim ancak 20. yüzyılda teknik bir anlam kazanmıştır. Simülasyonun karşılığı olarak teknik anlamda yaygın olarak benzetim terimi kullanılmaktadır.

Karmaşık sistemleri analiz etmek ve modellemek için güçlü bir yöntem olarak kullanılan simülasyon; askeri, sağlık, pazarlama, tedarik zinciri vb. pek çok alanda kullanılmaktadır. Özellikle üretim sistemlerinin tasarlanmasında ve operasyonel performansının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır [36].

Simülasyon kavramının literatürde birçok tanımı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Banks’e [37] göre simülasyon, içinde bulunduğumuz dünyada var olan bir sistemin veya yöntemin zaman içinde işleyişinin taklitidir. Bir sistemin işleyişini tanımlamak ve analiz etmek için ya da gerçek bir sistem tasarlamasına yardımcı olmak için kullanılmaktadır.

Shannon’a [38] göre simülasyon, sistem davranışını anlamak ve sistemin işleyişine yönelik çeşitli stratejiler geliştirmek ve değerlendirmek amacıyla gerçek bir sistem modeli tasarlama ve bu model ile deneyler yapma sürecidir.

Özçetine’e [39] göre ise simülasyon, sistem içerisinde birbirlerinden bağımsız görünen fakat bir arada çalışan bileşenler arasında var olan bağlantıları, sistemin girdilerinde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edilebileceğini, sistemin hangi parametrelere

daha duyarlı olduğunu büyük yatırım maliyetlerine sebebiyet vermeden önceden öngörebilmek ve analiz edebilmek için kullanılmaktadır.

Sonuç olarak simülasyon diğer bir deyişle benzetim, gerçek bir sistemin tüm özelliklerini içinde barındıran yapay bir sistemdir. Deney yapmanın maliyetli olduğu durumlarda ya da yeni bir sistemin tasarım aşamasında kullanıcılara zaman, maliyet, esneklik açısından fayda sağlayan bir uygulamadır.

2.1.1. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları

Simülasyon yöntemi, anlaşılması kolay olduğundan ve daha az varsayım gerektirdiğinden dolayı analitik ve matematiksel modellere göre daha avantajlıdır. Ek olarak sağladığı avantajlar aşağıda verilmiştir [38];

- ✓ Herhangi bir kaynak ayırmadan yeni yerleşimleri, tasarımları vb. test edebilme imkânı sunmaktadır.
- ✓ Devam eden süreçleri durdurmaya gerek duymadan yeni personel politikaları, çalışma prosedürleri, karar kuralları, organizasyon yapıları, bilgi akışları vb. araştırma olanağı sağlamaktadır.
- ✓ Bilgi, malzeme ve ürün akışlarındaki darboğazları kaldırmaya ve akış hızlarını artırmaya yönelik alternatifler belirleyebilmeyi ve alternatifleri analiz edebilmeyi sağlamaktadır.
- ✓ Sistemdeki belirli olayların nasıl veya neden meydana geldiğine dair hipotezler kurma ve bu hipotezleri test etme olanağı sağlamaktadır.
- ✓ Zamanı kontrol etme imkânı vermektedir. Sistemi birkaç ay veya yıla dayanan deneyimle birkaç saniye içerisinde çalıştırabilme ve uzun zaman ufuklarına hızlıca bakabilme imkânı sunmaktadır.
- ✓ Modellenmiş bir sistemin gerçekte nasıl çalıştığına ve sistem performansında hangi değişkenlerin etkili olduğuna dair bakış açısı kazandırmaktadır.
- ✓ Simülasyonun en kuvvetli özelliği “eğer şöyle olsaydı” sorusuna cevap veren deneyler yapabilme olanağı sunmasıdır.

Simülasyon yönteminin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır;

- ✓ Simülasyon modelinin kaliteli ve faydalı olması modelleme yapacak olan kişinin becerisine bağlı olmaktadır. Doğru ve güvenilir bir model oluşturulması için bu modeli kuracak olan kişinin bu konuda uzman olması gerekmektedir.
- ✓ Güvenilir girdi verilerinin toplanması uzun zaman sürebilmektedir ve çıktı verileri tartışmaya açık olabilmektedir.
- ✓ Simülasyon modelleri, girdi ve çıktı modelleridir. Bu sebeple, çözülmekten ziyade çalışmaktadırlar. Optimal bir çözüm sunamazlar, belirli koşullar altında bir sistemin işleyişini analiz etmek için bir araç olarak kullanılmaktadırlar.

2.1.2. Simülasyonun Uygulama Alanları

Literatür incelendiğinde simülasyonun çok geniş bir uygulama alanı olduğu görülmektedir. Simülasyonun en yaygın kullanılan uygulama alanları aşağıda verilen çeşitli başlıklar altında özetlenmiştir.

- Üretim Sistemlerinde Simülasyon

Yeni bir sistem kurmadan önce ya da mevcut sistem üzerinde maliyetten ve zamandan tasarruf ederek kapasite planlama, tesis içi yerleşim, işgücü planlama, montaj hattı dengeleme vb. yapmak için simülasyon kullanılmaktadır. Ayrıca, envanter kontrol sistemlerinin tasarlanmasında ve analizinde, malzeme taşıma sistemlerinin, dağıtım kanallarının tasarımında yaygın olarak tercih edilmektedir.

- Sağlık Sistemlerinde Simülasyon

Teknolojik gelişmeler sonucunda ortaya çıkan yeni ameliyat tekniklerinin denenmesinde simülasyon yöntemi kullanılmaktadır. Acil servislerde veya polikliniklerde doktor-hasta atamalarında, hastanede içerisindeki işgücü-kapasite planlamasında, doktor kuyruğunda bekleme süresi hesaplamada vb. birçok alanda simülasyondan faydalanılmaktadır.

- Askeri Sistemlerde Simülasyon

Askeri simülasyonlar yardımıyla, bir savaşta ya da askeri operasyonda yaşanabilecek durumlar, stratejik olarak alınması gereken kararlar ve bu kararlar neticesinde ortaya çıkacak sonuçlar analiz edilebilmektedir.

- Eğitimde Simülasyon

Sürücü adaylarının araç sürüş eğitiminde, pilotların uçuş eğitiminde, kaptanların gemi sürüş eğitiminde simülatörlerden yararlanılmaktadır. Bu sayede sürücülerin taşıtları kullanabilme düzeyi test edilmekte ve olası kazaların önüne geçilmektedir.

- Politika ve Ekonomide Simülasyon

Yöneticiler tarafından alınan kararların ülke ve dünya çapındaki etkilerinin test edilmesinde, risk ve piyasa analizlerinin yapılmasında, sermaye bütçelenmesinde vb. kullanılmaktadır.

2.1.3. Simülasyon Türleri

Simülasyon modelleri, değişkenlerin rassallık içerip içermemesine göre deterministik-stokastik, sistem ya da sürecin durumuna göre dinamik-statik, değişkenlerin değişiminin zaman içinde gözlenmesine göre kesikli-sürekli olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir [40].

- Deterministik-Stokastik Simülasyon Modeli

Rastgelelik içermeyen simülasyon modeli deterministiktir. Bir deterministik simülasyon modeli, aynı şartlar altında yapılan her deneyde aynı sonucu vermektedir.

Stokastik simülasyon modelleri ise rastgelelik içeren sistemlerdir. Sistem parametrelerinde, girdilerde rassallık bulunduğundan çıktılarda da rassallık meydana gelir. Bu nedenle deterministik simülasyon modellerinin aksine stokastik simülasyon modellerinde sistemin gelecekteki konumu bilinmemektedir. Yalnızca tahmin edilebilmektedir.

- Dinamik-Statik Simülasyon Modeli

Dinamik simülasyon modelleri, sistemin zaman boyutundaki değişimini göstermektedir. Modeldeki değişkenler veya varlıklar zamandan etkilenmekte ve zaman içinde değişim göstermektedir.

Statik simülasyon modelleri, sistemin belirli bir andaki durumunu göstermektedir. Dolayısıyla bu modeller zamandan etkilenmemekte ve zamana bağlı değişiklik

göstermemektedir. Statik simülasyon modeli Monte Carlo simülasyonu olarak da bilinmektedir.

- Kesikli-Sürekli Simülasyon Modeli

Kesikli simülasyon modelinde, sistemdeki değişkenleri değerleri zamanın belirli noktalarında değişmektedir. Örneğin, hammadde sayısı ya da kusurlu ürün sayısı sistemin belirli zaman noktalarında değişiklik göstermektedir.

Sürekli simülasyon modelinde ise sistemdeki değişkenlerin değerleri zaman içerisinde sürekli olarak değişmektedir. Örneğin, sulama yapılırken bir borudan suyun sürekli olarak akması sürekli simülasyonun kapsamına girer.

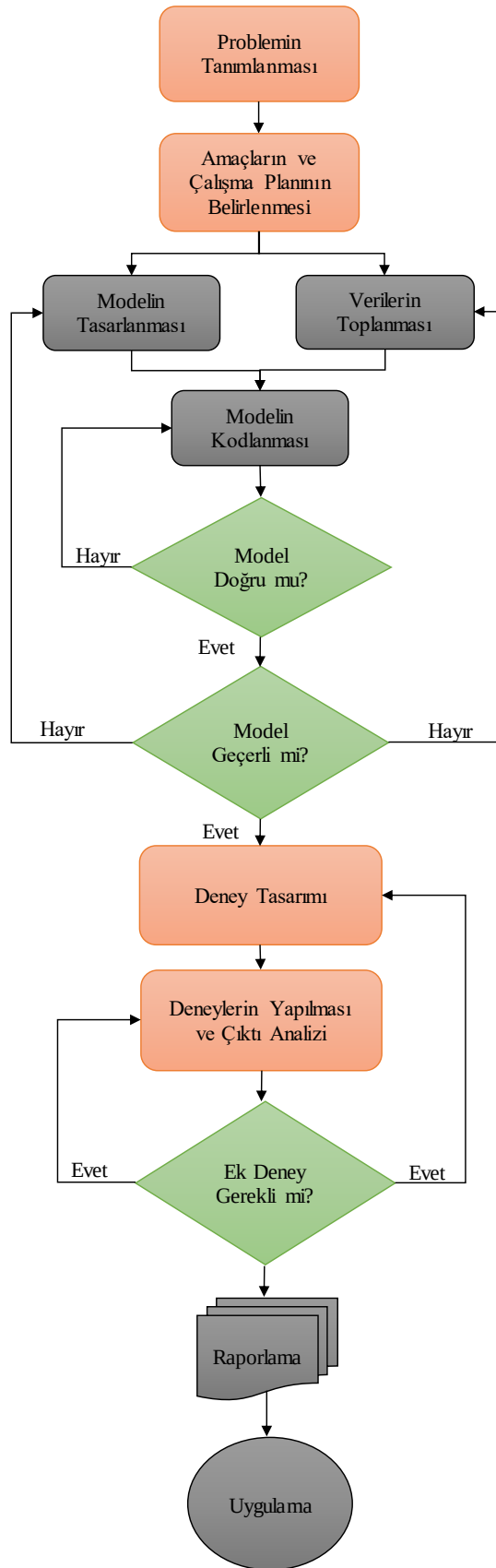
2.1.4. Simülasyon Uygulama Süreci

Eksiksiz, doğru ve güvenilir bir simülasyon modeli kurmak için izlenmesi gereken adımlar vardır. Banks'ın [37] oluşturmuş olduğu simülasyon uygulama adımlarını gösteren şema Şekil 2.1'de verilmiştir.

- Problemin Tanımlanması

Bir simülasyon çalışmasına başlamak için öncelikle problemin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Aksi takdirde modelden elde edilen sonuçlar güvenilir olmayacaktır.

Gerçek hayatta problemler açık bir şekilde tanımlanmış değildirler. Bu yüzden simülasyon çalışmasını yapacak olan kişinin problemi tanımlarken simülasyon projesini talep eden kişi ile sürekli bir iletişim içinde olması gerekmektedir. Sisteme dair çeşitli sorular sorularak problemin detaylı şekilde tanımlanması bu şekilde sağlanmalıdır [41].



Şekil 2.1 Simülasyon uygulama adımları

- Amaçların ve Çalışma Planının Belirlenmesi

Amaçlar, simülasyon çalışması tarafından cevaplanması gereken soruları göstermelidir. Çalışma planı ise simülasyon çalışması için gerekli olacak süreyi, çalışmayı gerçekleştirecek olan ekipteki kişi sayısını, çalışmanın aşamalarını ve maliyetini içermelidir [37].

- Kavramsal ve Mantıksal Modelin Kurulması

Modelleme, sistemin daha basit bir gösteriminin oluşturulması ile başlar ve zaman içinde sistemle ilgili daha kapsamlı bilgiler elde edildikçe modele dahil edilerek model geliştirilir ve tamamlanır [42]. Bu adımda gerçek sistemi mümkün olduğunca doğru şekilde taklit eden bir simülasyon modeli kurmak amaçlanmaktadır.

- Verilerin Toplanması ve Girdi Analizi

Veri toplama, simülasyon çalışmasının en önemli aynı zamanda en çok zaman alan aşamasıdır. Bundan dolayı veri toplama işlemine mümkün olduğunca erken başlamak gerekmektedir. Veriler toplanırken yaygın olarak zaman etüdü çalışmaları yapılmaktadır.

Veriler toplandıktan sonra girdi verilerinin analizini yapmak gerekmektedir. Veri analizi için aşağıda verilen adımlar izlenmelidir [43].

Adım 1: Veri haritası oluşturmak;

- ✓ Dağılımın genel niteliğini belirlemek amacıyla histogram ya da özetleyen istatistikler kullanmak.

Adım 2: Dağılım grubunu seçmek;

- ✓ Adım 1'in sonuçlarını kullanarak uygun dağılımı seçmek,
- ✓ Her dağılımı, gözlemlenmiş veriye uydurmak ve dağılım parametrelerini tahmin etmek.

Adım 3: En uygun dağılımı seçmek;

- ✓ Çeşitli istatistik yöntemleri kullanılarak uyumu yapılmış dağılımlar arasından gözlemlenmiş veriyi en iyi şekilde temsil edeni belirlemek.

Adım 4: Dağılım kalitesini kontrol etmek;

- ✓ Dağılımın uyum iyiliğini belirlemek,
- ✓ Anderson–Darling testi,
- ✓ Kolmogorov–Smirnov testi,
- ✓ Ki-Kare testi.
- Modelin Kodlanması

Bu adımda, önceden kurulmuş olan kavramsal model bilgisayar ortamında simülasyon paket programı veya yazılım dili kullanılarak kodlanmaktadır.

- Model Doğrulama

Doğrulama simülasyon uygulama süreci içerisinde oldukça önemlidir. Doğrulamanın devam eden bir süreç olması önemle tavsiye edilmektedir. Doğrulama sürecine başlamak için modellemenin tamamen bitmesine gerek yoktur [37].

Model doğrulama tekniklerinden bazıları aşağıdaki gibidir [44].

- ✓ Model kodunu gözden geçirmek,
- ✓ Kabul edilebilir çıktıları kontrol etmek,
- ✓ Animasyonu izlemek,
- ✓ İzleme(trace) ve hata ayıklama(debug) işlemlerini kullanılmak.
- Modelin Geçerliliği

Model geçerliliği araştırılırken kavramsal model ve gerçek sistemin sonuçları karşılaştırılmaktadır. Kurulan modelin gerçek sistemin yerine kullanılabilmesi gerekmektedir. Eğer bu mümkün değil ise kavramsal model ve veriler gözden geçirilmelidir.

- Deney Tasarımı

Modelin geçerli olduğuna karar verildikten sonra modelin performansını analiz etmek için, model kuran kişi tarafından problemin çözülmesine yönelik oluşturulan alternatiflerin karşılaştırılması ve analiz edilmesi için deney tasarımı

gerçekleştirilmektedir. Deney tasarımı yapıldıktan sonra simülasyonun çalışma uzunluğu ve her çalışmada yapılacak olan tekrar sayısına karar verilmesi gerekmektedir.

- Deneylerin Yapılması ve Çıktı Analizi

Bu adımda simülasyon deneyleri belirlenmiş olan koşullar altında çalıştırılır ve elde edilen sonuçlar analiz edilir. Yapılan analizler ile gerçek sistemin davranışları hakkında tespitlerde bulunmaktadır. Analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda ilave deney yapılmasının gerekli olup olmadığına karar verilmektedir.

- Dokümantasyon ve Raporlama

Raporlar, kurulmuş olan modele ait deneyleri, çıktı analizlerini, probleme çözüm oluşturan alternatifleri içinde bulundurmaktadır. Ayrıca simülasyon modeli eğer tekrar kullanılacaksa nasıl çalıştığını anlamak için raporlar gerekmektedir. Ya da model değiştirilecekse var olan raporlar bu işlemin daha kolay yapılmasına katkı sağlamaktadır [37].

- Uygulama

Simülasyon modelinin kullanıcısı, modelin kurulması süresi boyunca tüm aşamalara dahil olmuşsa ve simülasyon modelinin analisti tüm aşamaları özenle takip etmişse uygulamanın başarılı olma olasılığı yüksektir [37].

2.1.5. Simülasyon Yazılımları

Maliyet ve zamandan dolayı gerçek bir sistem üzerinde deneyler yapmanın mümkün olmadığı durumlarda şirketler simülasyon yazılımları kullanarak problemlerini verimli bir şekilde çözmeye başlamışlardır. Aşağıda sıklıkla kullanılan simülasyon yazılımları sıralanmıştır.

- Arena

Sistem simülasyonu programı olan Arena, gerçek ya da hayali bir sistemi bilgisayar ortamında tasarlamak ve modellemek için kullanılan bir programdır. Oluşturulan modelin veri analizi ve çıktı analizi program aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Arena

yazılımının animasyon özelliği ile simülasyonun kullanıcı tarafından kolayca izlenebilmesi sağlanmaktadır.

- Anylogic

Anylogic, etmen tabanlı simülasyon modellemesinde kullanılan yazılımdır. Ayrıca Anylogic; ayrık olay simülasyonu, sistem dinamikleri ve etmen tabanlı modellemeyi tek bir uygulama içinde birleştiren bir yazılımdır.

- ProModel

ProModel, üretim sisteminin verimliliğini arttırmak, dar boğazları önlemek, kaynak kullanımı arttırmak, stok seviyelerini düşürmek için kullanılan sistem simülasyonu programıdır.

- Simulia

Simulia, karmaşık çok disiplinli sistemleri modellemek, sistem performansını değerlendirmek ve doğrulamak için kullanılan simülasyon yazılımıdır.

- Delmia

Delmia, simülasyon ve planlama yazılımıdır. Üretim hatlarının tasarlanmasına, planlanmasına ve optimize edilmesine olanak sağlamaktadır.

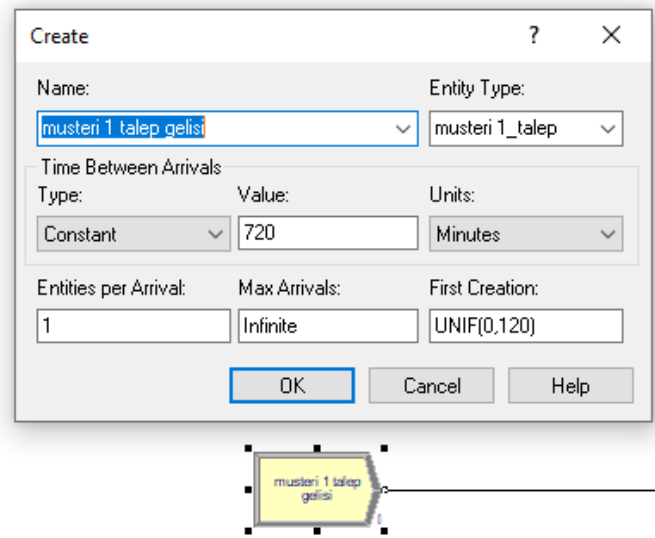
Tez çalışması kapsamında simülasyon yazılımı olarak Arena kullanılmıştır. Arena, olasılık dağılımlarının kullanılabilmesine olanak sağlaması, sistemin performansını yansıtan istatistiksel verileri detaylı bir şekilde sunması, etkin modelleme yeteneği gibi üstünlüklerinden dolayı kullanılmıştır.

2.1.5.1.Arenada Kullanılan Temel Modüller

- Create Modülü

Create modülü, simülasyon modelinde varlıklar için başlangıç noktasıdır. Varlıkların tipi, gelişler arası süresi, sisteme girecek varlık sayısı, maksimum üretim kararı sayısı, varlıkların sisteme ilk geliş zamanı bu modül ile belirlenmektedir.

Şekil 2.2’de tez çalışmasında müşteri talep gelişi için kullanılan create modülünün örnek gösterimi verilmiştir. Burada 1. müşteri için talep gelişinin 720 dakikada bir gerçekleştiği görülmektedir. İlk talep uniform dağılıma uygun olarak sistemin başlangıç zamanı ile 120. dakika aralığında gelmektedir.



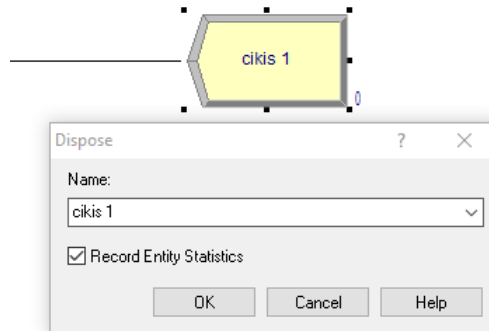
Şekil 2.2 Create modülü gösterimi

Tez çalışmasında create modülü, talep ve hammadde gelişlerinde kullanılmıştır. Ayrıca ortalama günlük stok hesabı yapabilmek için create modülü ile bir varlık oluşturulmuş ve oluşturulan varlık ile ortalama günlük stoklar kayıt altına alınmıştır.

- Dispose Modülü

Create modülü ile oluşturulan varlık dispose modülü ile sistemi terk etmektedir. Varlıklar sistemden çıkmadan önce istatistikleri bu modül aracılığı ile kaydedilebilmektedir.

Şekil 2.3’te dispose modülünün gösterimi verilmiştir.



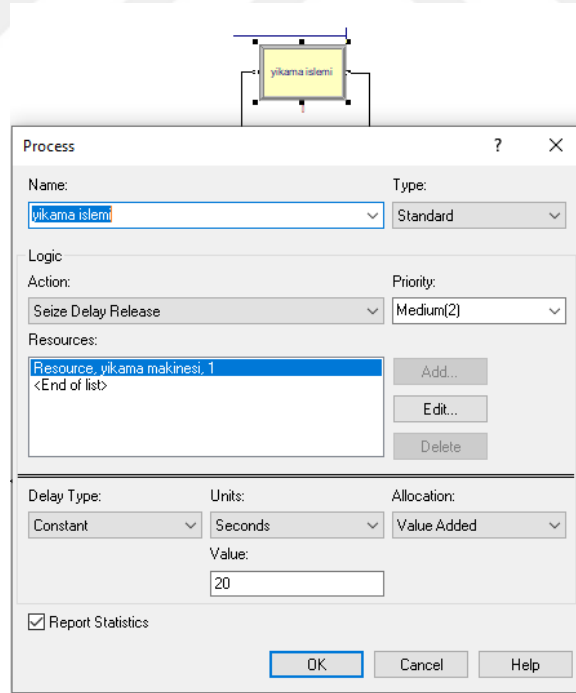
Şekil 2.3 Dispose modülü gösterimi

- Process Modülü

Process modülü, varlıklar oluşturulduktan sonra işlemlerin yapılacağı yeri temsil etmektedir. Modüle giren varlıkların bir noktada belli bir süre tutulmasını veya işlem göreceği işlemin süresi boyunca kaynak ve varlığın bekletilmesini sağlamaktadır. İşlemin süresi boyunca varlığın işlem gördüğü kaynak meşgul durumdadır bu nedenle başka varlık bu kaynağı kullanamaz ve kuyrukta kaynağın boş duruma gelmesini beklemek durumundadır. Varlığın işlem süresi bittikten sonra varlık modülden çıkar ve kaynak işlem önceliği gözeterek kuyrukta bekleyen başka bir varlığı işleme alır.

Şekil 2.4'te tez çalışmasında yıkama işlemi için kullanıla process modülün gösterimi verilmiştir. Varlık modüle girdiğinde yıkama makinesi kaynağında 20 saniye işlem görmektedir.

Process modülü tez çalışması uygulamasında; yıkama, dolum, ayırma işlemlerinde kullanılmıştır.

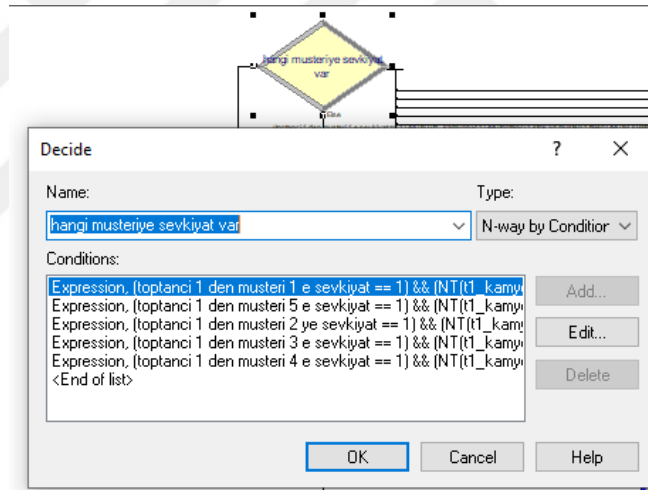


Şekil 2.4 Process modülü gösterimi

- Decide Modülü

Decide modülü sistemde bir veya daha fazla olasılığa ya da koşula bağlı olarak karar verilmesini sağlar. Koşullar; bir ifadeye, varlık tipine, değişken veya özellik değerlerine bağlı olabilir. Modülde 2'li ihtimal, çoklu ihtimal, 2'li durum, çoklu durum olmak üzere 4 tip seçeneği vardır. 2'li tipler seçildiğinde decide modülünde doğru ve yanlış olmak üzere iki çıkış noktası vardır. Çoklu tiplerden birisi seçildiğinde ise her durum veya ihtimal için çıkış noktası ve tek bir yanlış çıkışı vardır.

Şekil 2.5'te tez çalışmasında ürünlerin hangi müşteriye gideceğine karar vermek için kullanılan decide modülünün gösterimi verilmiştir. Decide modülünün çoklu durum tipi kullanılmıştır. Eğer toptancı 1'den müşteri 1'e sevkiyat varsa ve toptancı 1'in boş durumda kamyonu varsa ürünler toptancı 1'e sevk edilecektir.



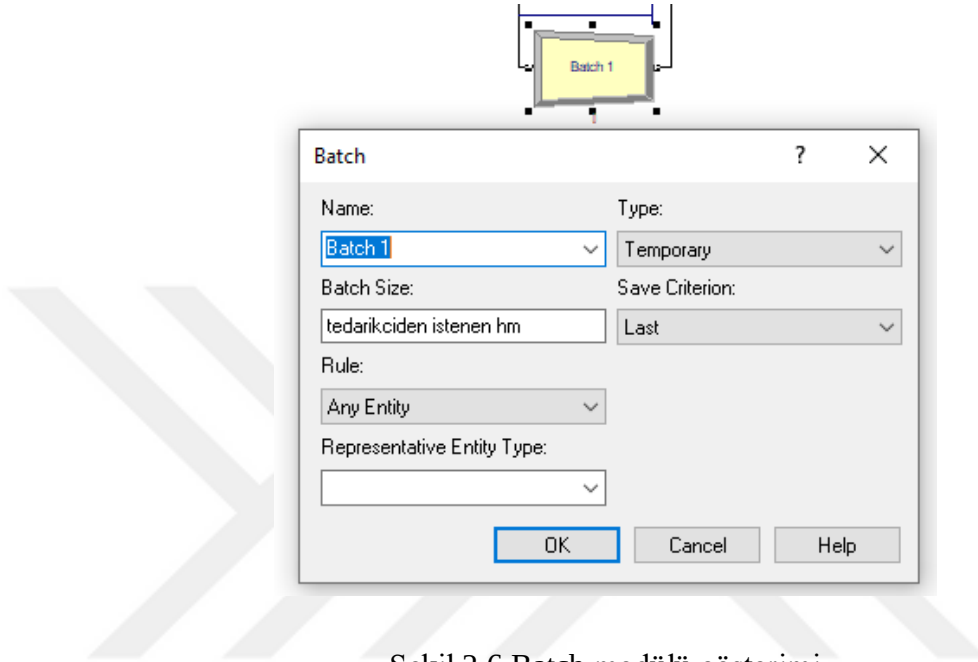
Şekil 2.5 Decide modülü gösterimi

Tez çalışmasında decide modülü, sevkiyat yapılmadan önce uzaklık, talep ve stok kontrolü yapılarak ürünlerin taşınacağı yere karar vermede kullanılmıştır.

- Batch Modülü

Batch modülü sistemdeki varlıkların geçici veya kalıcı olarak gruplandırılmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Varlıklar belirli bir sayıya göre veya belirli bir özelliğe göre gruplandırılmaktadır. Gruplandırılma yapılacak varlık sayısı tamamlana kadar diğer varlıklar batch modülünün kuyruğunda beklemektedir. Sayı tamamlandıktan sonra modülden çıkış yapılmaktadır.

Şekil 2.6’da hammaddelerin fabrikaya gitmeden önce gruplandırılmasını sağlayan batch modülünün gösterimi verilmiştir. Modülün kuyruğundaki varlık sayısı “tedarikçiden istenen hm” değerine ulaştıktan sonra geçici olarak gruplandırılarak modülden çıkış yapılacaktır.



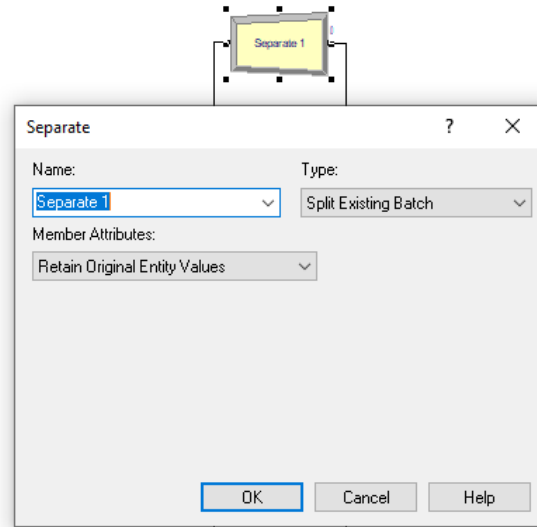
Şekil 2.6 Batch modülü gösterimi

Batch modülü tez çalışmasında, sevkiyatlardan önce hammaddelerin veya ürünlerin gruplandırılması için kullanılmıştır.

- Separate Modülü

Separate modülü, önceden oluşturulmuş olan varlık grubunun bölünmesi için veya bir varlığın kopyalanması için kullanılmaktadır. Varlık kopyalaması için, kopyalanacak varlık sayısı değeri girilmesi gerekmektedir. Varlık o değer kadar çoğaltılmakta ve modülden ayrılmaktadır. Varlık grubu bölünürken, oluşturulmuş olan geçici varlıktan grubu oluşturan orijinal varlıklar elde edilmekte ve orijinal varlıklar modülden ayrılmaktadır.

Şekil 2.7’de separate modülünün gösterimi verilmiştir.



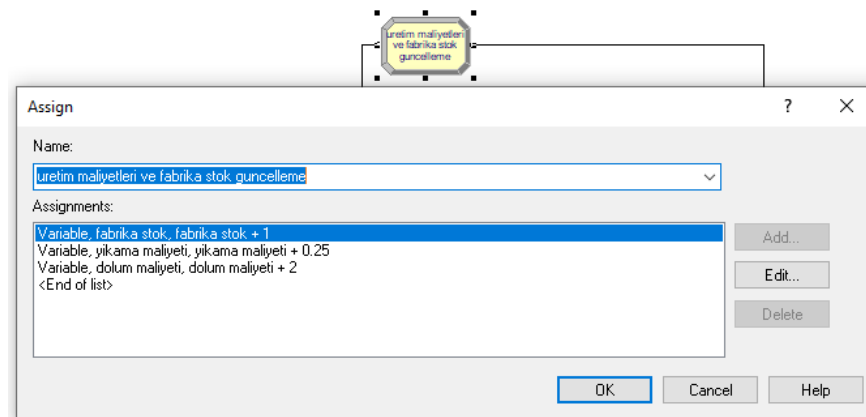
Şekil 2.7 Separate modülü gösterimi

Tez çalışmasında separate modülü, batch modülü ile birleştirilen sevkiyat edilecek ürünlerin sevkiyat noktasına ulaştıktan sonra bölünmesi için kullanılmıştır.

- Assign Modülü

Assign modülü; değişkenlere, varlık niteliklerine, varlık tiplerine, varlık resimlerine veya diğer sistem değişkenlerine yeni değerler atamak için kullanılmaktadır. Tek bir assign modülü ile birden fazla atama gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 2.8’de tez çalışması kapsamında üretim maliyetleri ve stok güncellemek için kullanılmış olan assign modülünün gösterimi verilmiştir. Fabrika stok değeri modüle her giren varlıkla birlikte 1 artmaktadır. Yıkama ve dolum maliyetleri de modüle her giren varlıklar beraber ilgili maliyet değeri kadar artmaktadır.



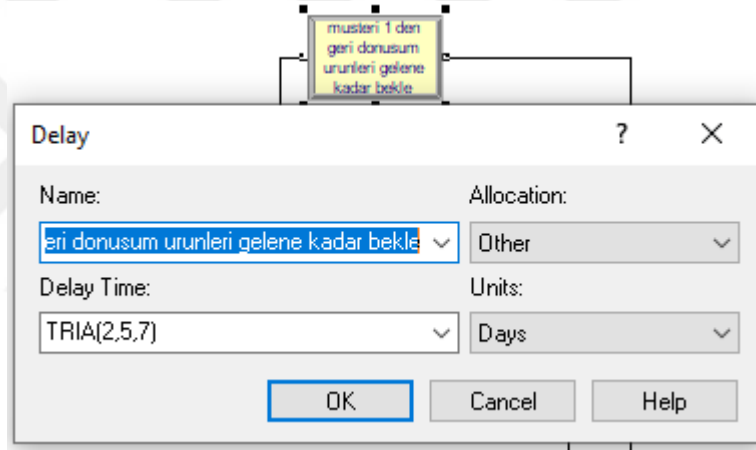
Şekil 2.8 Assign modülü gösterimi

Tez çalışmasında assign modülü; maliyet, stok miktarı, sevk edilen ürün miktarı güncellemeleri yapmak, sevkiyat emri vermek ve sonlandırmak için kullanılmıştır.

- Delay Modülü

Delay modülü, varlığın bir süre geciktirilmesini sağlamaktadır. Modüle giren varlık belirtilen süre boyunca modülde kalmaktadır. Süre sonlandıktan sonra ise modülden ayrılmaktadır.

Şekil 2.9'da tez çalışması kapsamında ürünlerin kullanılıp geri dönüşüm ürünlerine dönüşene kadar bekletilmesi için kullanılan delay modülünün gösterimi verilmiştir. Modüle girilen bekleme süresi ürünlerin kullanım süresini ifade etmektedir.



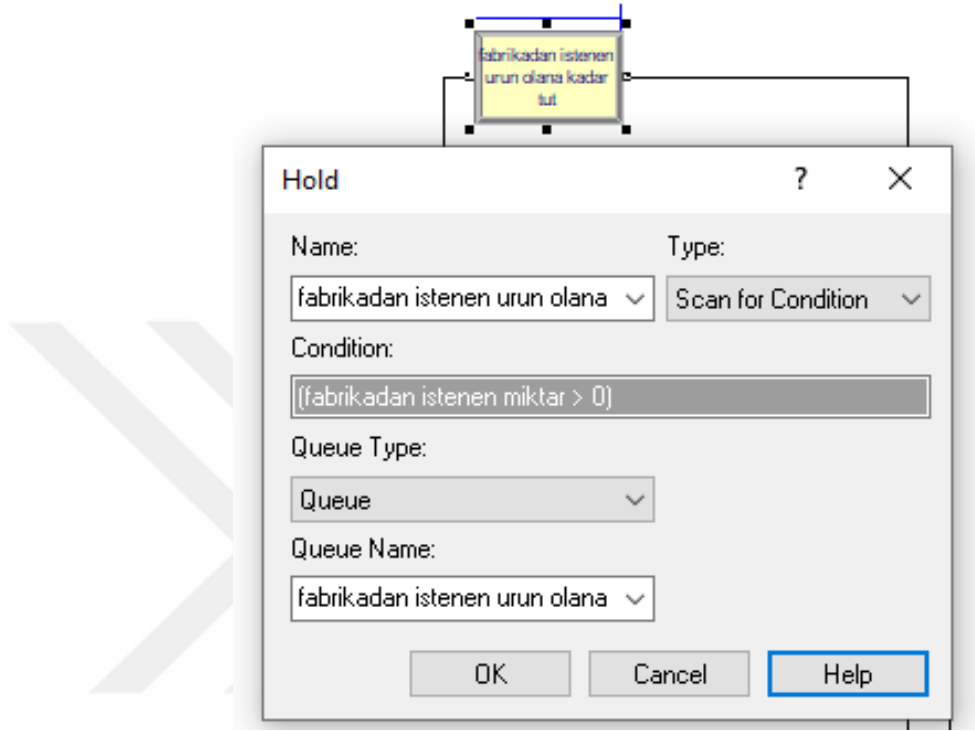
Şekil 2.9 Delay modülü gösterimi

Delay modülü tez çalışmasında, müşterilerden geri dönüşüm ürünlerinin gelmesini beklemek için kullanılmıştır.

- Hold Modülü

Hold modülü 3 tipte çalışır. Varlık bir sinyal için, bir koşulun gerçekleşmesi için veya sonsuz olarak tutulabilmektedir. Eğer sinyal için tutuluyorsa aynı sinyal değeri model içinde bir “signal modülü” tarafından gelene kadar varlık hold modülünde tutulmaktadır. Bir koşulun gerçekleşmesi için tutuluyor ise koşul sağlanana kadar varlık hold modülünün kuyruğunda kalacaktır. Sonsuz tutuluyor ise varlık bir “remove modülü” tarafından kuyruktan kaldırılana kadar hold modülünün kuyruğunda tutulacaktır.

Şekil 2.10’da gösterimi hold modülünün gösterimi verilmiştir. Hold modülü kullanılarak fabrikadan istenen miktar değişkeninin değeri sıfırdan büyük olana kadar tutulması sağlanmıştır.



Şekil 2.10 Hold modülü gösterimi

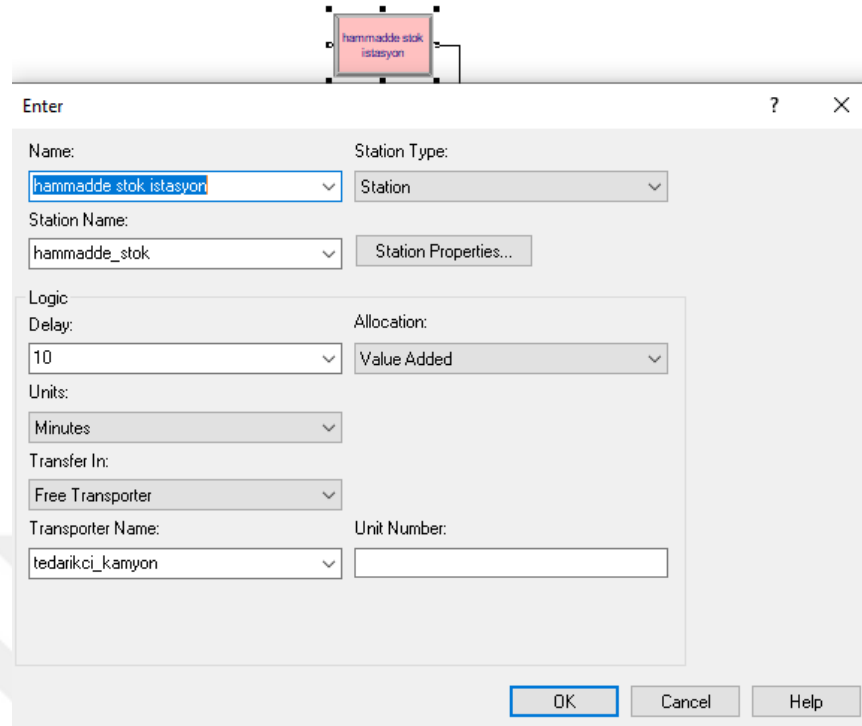
Tez çalışması kapsamında hold modülü, varlıkların yani ürünlerin, hammaddelerin ya da taleplerin belirli koşullar sağlanana kadar tutulması için kullanılmıştır.

- Enter Modülü

Enter modülü, fiziksel ya da mantıksal bir konumu ifade eden bir istasyonu veya istasyon setini tanımlamaktadır. Varlık, enter modülüne ulaştığında bir boşaltma gecikmesi durumu meydana gelmektedir ve modülden ayrılmadan önce enter modülüne varlığın aktarılması için kullanılan transfer sistemi serbest bırakılmaktadır.

Şekil 2.11’de hammadde stok istasyonunu gösteren enter modülünün gösterimi verilmiştir. Modüle gelen varlık 10 dakika bekledikten sonra taşıma aracını serbest bırakarak modülden ayrılmaktadır.

Enter modülü tez çalışması kapsamında, istasyon tanımlamalarında kullanılmıştır.



Şekil 2.11 Enter modülü gösterimi

- Leave Modülü

Leave modülü, varlığı bir istasyona veya modüle aktarmak için kullanılmaktadır. Varlık leave modülüne ulaştığında seçilen transfer türünü kuyrukta beklemesi gerekebilmektedir. Transferi gerçekleştirecek olan araç, konveyör ya da kaynak uygun durumda olduğunda bir yükleme süresi için gecikme gerçekleşmektedir. Varlık gecikmenin ardından modülde belirtilen istasyona veya modüle aktarılmaktadır.

Şekil 2.12’de leave modülünün gösterimi verilmiştir. Varlık modüle ulaştığında en yakın konumdaki “tedarikçi_kamyon” aracı için istekte bulunmaktadır. Araç geldikten sonra 10 dakikalık bir yükleme gecikmesinin ardından varlık “hammadde_stok” istasyonuna taşınmaktadır.

Tez çalışması kapsamında leave modülü, ürünleri veya hammaddeleri istasyonlara aktarmak için kullanılmıştır.

Şekil 2.12 Leave modülü gösterimi

- Transporter Data Modülü

Transporter modülü, varlıkların bir konumdan başka bir konuma taşınmasında kullanılacak olan taşıyıcı türünün tanımlanması için kullanılmaktadır. Tanımlama yapmak için taşıyıcının birim sayısı, tipi, mesafe seti, hızı, hız birimi değerleri girilmesi gerekmektedir.

Şekil 2.13'te transporter data modülünün gösterimi verilmiştir. Tez çalışmasında araçları tanımlamak için transporter modülü kullanılmıştır.

Transporter - Advanced Transfer									
	Name	Number of Units	Type	Distance Set	Velocity	Units	Initial Position Status	When Freed	Report Statistics
1	tedarikci_kamyon	1	Free Path	tedarikci_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
2	fabrika_kamyon	1	Free Path	fabrika_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
3	dm1_kamyon	1	Free Path	dm1_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
4	dm2_kamyon	1	Free Path	dm2_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
5	t1_kamyon	1	Free Path	t1_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
6	t2_kamyon	1	Free Path	t2_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
7	m1_kamyon	1	Free Path	m1_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
8	m2_kamyon	1	Free Path	m2_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
9	tm1_kamyon	1	Free Path	tm1_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
10	tm2_kamyon	1	Free Path	tm2_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
11	gdt_kamyon	1	Free Path	gdt_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
12	m3_kamyon	1	Free Path	m3_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
13	m4_kamyon	1	Free Path	m4_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒
14	m5_kamyon	1	Free Path	m5_kamyon.Distance	70	Per Hour	0 rows	Remain Where Freed	☒

Şekil 2.13 Transporter data modülü gösterimi

- Distance Data Modülü

Distance modülü, bir taşıyıcının mesafe setindeki iki istasyonun aralarındaki mesafeyi tanımlamak için kullanılmaktadır. Başlangıç istasyonu, bitiş istasyonu ve aralarındaki mesafe değeri girilerek tanımlama işlemi gerçekleştirilmektedir.

Şekil 2.14'te distance data modülünün gösterimi verilmiştir. Tez çalışmasında mesafeleri tanımlamak için distance modülü kullanılmıştır.

Distance - Advanced Transfer		
	Name	Stations
1	tedarikci_kamyon.Distance	1 rows
2	fabrika_kamyon.Distance	2 rows
3	dm1_kamyon.Distance	2 rows
4	dm2_kamyon.Distance	2 rows
5	t1_kamyon.Distance	5 rows
6	t2_kamyon.Distance	5 rows
7	m1_kamyon.Distance	2 rows
8	m2_kamyon.Distance	2 rows
9	m3_kamyon.Distance	2 rows
10	m4_kamyon.Distance	2 rows
11	m5_kamyon.Distance	2 rows
12	tm1_kamyon.Distance	1 rows
13	tm2_kamyon.Distance	1 rows
14	gdt_kamyon.Distance	3 rows

Stations

	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	t1_depo	musteri_1	6
2	t1_depo	musteri_2	9
3	t1_depo	musteri_3	11
4	t1_depo	musteri_4	13
5	t1_depo	musteri_5	8

Şekil 2.14 Distance data modülü gösterimi

- Statistic Data Modülü

Statistic modülü, simülasyon esnasında toplanması istenilen ek istatistikleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu modülde tanımlanabilecek 5 istatistik türü vardır: zamana bağlı, gözlemsel veriler, sayıma, çıktıya ve frekansa dayalı.

Şekil 2.15'te statistic modülünün gösterimi verilmiştir. Tez çalışmasında, simülasyon sonucunda analiz edilmek istenilen ek istatistikler bu modülde tanımlanmıştır.

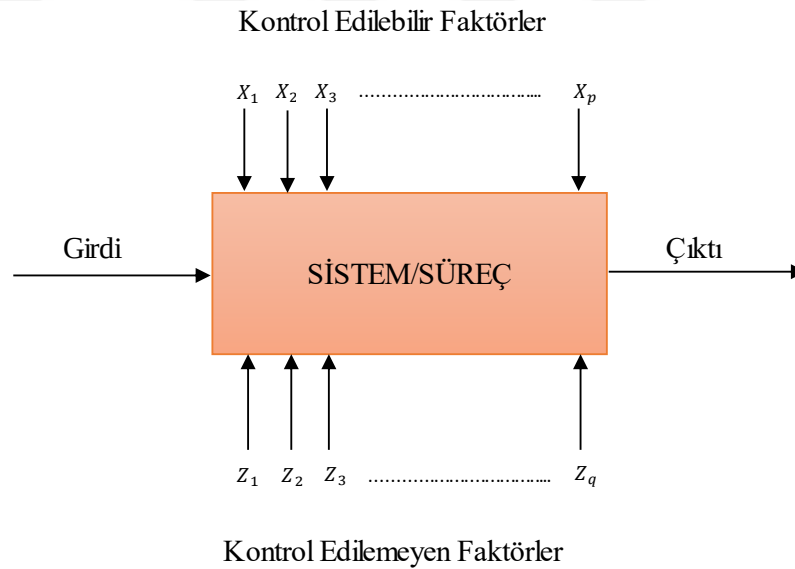
Statistic - Advanced Process					
	Name	Type	Expression	Report Label	Output File
1	1. Toplam Kar	Output	(satis kazanci) - (yikama maliyeti +	1. Toplam Kar	
2	2. Toplam Satis Kazanci	Output	satis kazanci	2. Toplam Satis Kazanci	
3	3. Toplam Tasima Maliyeti	Output	(hammadde tasima maliyeti + dagitim	3. Toplam Tasima Maliyeti	
4	4. Toplam Uretim Maliyeti	Output	(yikama maliyeti + dolum maliyeti)	4. Toplam Uretim Maliyeti	
5	5. Toplam Hammadde Satin Alma Maliyeti	Output	(hammadde maliyeti + geri donusum	5. Toplam Hammadde Satin Alma Maliyeti	
6	6. Toplam Stok Tutma Maliyeti	Output	(hammadde toplam stok * 0.4 +	6. Toplam Stok Tutma Maliyeti	
7	6.a Hammadde ortalama stok	Output	hammadde toplam stok / 30	6.a Hammadde ortalama stok	
8	6.b Fabrika ortalama stok	Output	fabrika toplam stok / 30	6.b Fabrika ortalama stok	
9	6.c Dagitim merkezi 1 ortalama stok	Output	dagitim merkezi 1 toplam stok / 30	6.c Dagitim merkezi 1 ortalama stok	
10	6.d Dagitim merkezi 2 ortalama stok	Output	dagitim merkezi 2 toplam stok / 30	6.d Dagitim merkezi 2 ortalama stok	
11	6.e Toptanci 1 ortalama stok	Output	toptanci 1 toplam stok / 30	6.e Toptanci 1 ortalama stok	
12	6.f Toptanci 2 ortalama stok	Output	toptanci 2 toplam stok / 30	6.f Toptanci 2 ortalama stok	

Şekil 2.15 Statistic data modülü gösterimi

2.2. Deney Tasarımı

Deney tasarımı, 1920'lerde İngiltere'de R. A. Fisher tarafından bir sistem veya süreç üzerinde aynı anda birden fazla değişkenin etkisini incelemek için ortaya koyulan güçlü bir istatistiksel tekniktir. Fisher, deney tasarımını ilk olarak en iyi mahsulü üretmek için hangi miktarlarda yağmur, su, gübre, güneş ışığı vb. gerektiğini öğrenmek için kullanmıştır [45].

Şekil 2.16'da bir sistemin ya da sürecin genel bir gösterimi verilmiştir. Süreç değişkenlerinden $X_1, X_2, \dots, X_p$ kontrol edilebilir değişkenler, $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$ kontrol edilemeyen değişkenler olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.16 Bir sistemin ya da sürecin genel gösterimi [46]

Deney tasarımı, yeni bir süreç geliştirmede ve mevcut sürecin performansını arttırmak için düzenlemeler yapmada önemli bir rol oynamaktadır. Burada amaç, sağlam bir süreç geliştirmektir. Asıl hedeflenen değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin ($Z_1, Z_2, \dots, Z_q$) etkisinin en az olduğu süreci geliştirmektir [45].

Deney tasarımının amacı, bir sürecin işleyişini inceleyerek, bu sürecin kalite karakteristiklerini etkileyen faktörleri belirlemek ve sürecin kalitesini artırabilmek için hangi faktörün hangi seviyede olması gerektiği sonucuna ulaşabilmektir [47].

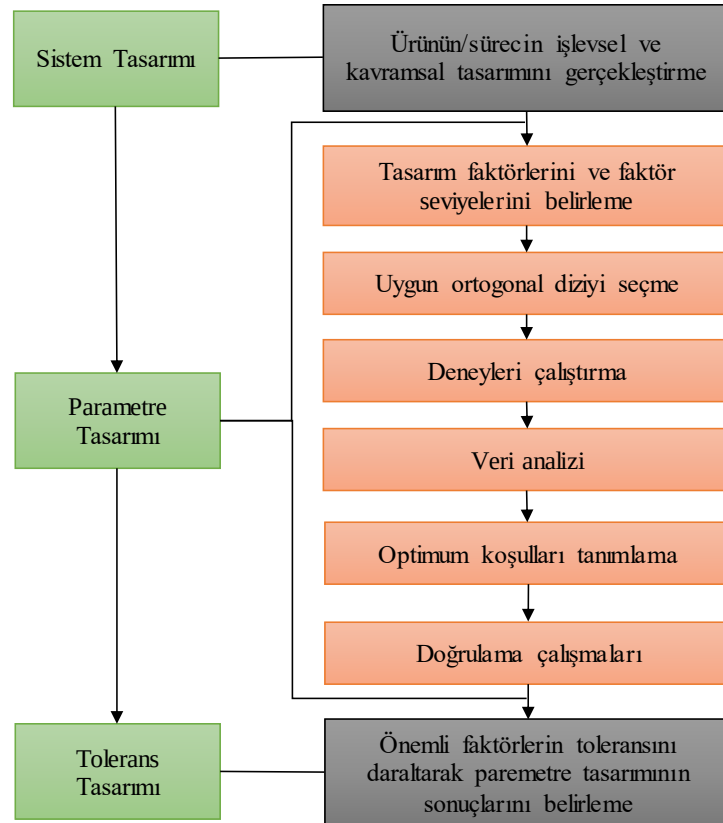
2.2.1. Taguchi Tasarımı

Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş olan Taguchi deney tasarım yöntemi, üretim süreçlerinin doğasında var olan değişkenliğin dikkate alındığı bir dizi metodolojidir [48]. Bu yöntemin uygulanması, 1980'lerden sonra yaygınlaşmıştır.

Geleneksel deney tasarım yöntemlerinde faktörlerin sayısı arttıkça çok sayıda deneyle uğraşmak zorunda kalınırken, kesirli faktöriyel tasarım olan Taguchi yönteminde az sayıda deney ile etkin sonucun elde edilmesi sağlanmaktadır.

Bu yöntem tasarım aşamasındaki bir ürünün tolerans limitlerinin belirlenmesinde, yeni kullanım tekniklerinin karşılaştırılmasında, üretim sırasında kaliteyi ve maliyeti etkilediği düşünülen faktörlerin etki derecelerinin araştırılmasında ve bunların hangi seviyelerde bulunması gerektiğinin belirlenmesinde, üretim sırasında yapılması öngörülen değişikliklerin faydalı olup olmayacağını belirlenmesinde kullanılmaktadır [49].

Taguchi tasarım yönteminin prosedürünün gösterimi Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17 Taguchi tasarım yönteminin prosedürü [48]

Taguchi deneysel tasarım yöntemi üç aşamadan oluşmaktadır: Sistem tasarımı, parametre tasarımı, tolerans tasarımı.

- Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı, Taguchi deneysel tasarım yönteminin ilk adımıdır. Bu adımda nominal koşullar altında çalışacak bir sistemin ya üretilecek bir ürünün işlevsel ve kavramsal tasarımı gerçekleştirilmektedir. Kavramsal tasarım, fikirlerin oluşturulmasını, araştırılmasını ve sunulmasını kapsamaktadır. Ürünün/sürecin nasıl görünmesi ve performans göstermesi gerektiğini ortaya koymaktadır. İşlevsel tasarım ise son ürünün ya da sürecin işlevsel performansını elde etmek için çeşitli alt görevlerin tanımlanmasını ve bunların entegrasyonunu içermektedir [50].

- Parametre Tasarımı

Taguchi tasarımında en önemli aşama parametre tasarımıdır. Ürünün/sürecin hedeflenen performansı göstermesi için tasarım faktörlerinin optimal koşullarının belirlenmesi sürecidir [50]. Faktörler ve seviyeleri belirlendikten sonra ilk olarak faktörlerin sayılarına ve seviyelerine uygun ortogonal dizinin seçilmesi gerekmektedir. Daha sonra ortogonal dizine dayalı deneyler çalıştırılıp veriler analiz edilmektedir. Sonuçlar analiz edilirken sinyal/gürültü adı verilen performans ölçütü kullanılmaktadır. Analiz sonucunda optimum çalışma koşulları belirlenmekte ve doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

- Tolerans Tasarımı

Parametre tasarım sürecinde tanımlanan optimum çalışma koşulları etrafındaki toleransların belirlenmesi işleminin gerçekleştirildiği adımdır. Toleranslar, üretim ve kalite maliyetlerini en aza indirmek için optimal düzeyde belirlenmelidir [50]. Taguchi dar toleranslarla çalışılması gerektiğini söylemektedir.

Tez çalışması kapsamında kapalı döngü tedarik zinciri ağ akışını etkilediği düşünülen dört faktör ve bu faktörlere ait seviyeler belirlenmiştir. Taguchi deney tasarım yöntemi ile az sayıda deney yaparak belirlenen faktörlerin sistemin çalışma düzeyine olan etkileri ve uygun çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

3. BÖLÜM

UYGULAMA VE BULGULAR

3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağının Simülasyon ile Modellenmesi

Etkili bir kapalı döngü tedarik zinciri sistemi seçimi rekabetçi ortamda öne çıkmayı sağlayacaktır. Bu kapsamda, bu çalışmada kapalı döngü tedarik zincirinde itme ve çekme stratejilerine göre çalışan farklı modeller geliştirilmiş ve en etkin model belirlenmeye çalışılmıştır. Modellerde ele alınan kapalı döngü tedarik zinciri elemanları; tedarikçiler, fabrikalar, dağıtım merkezleri, toptancılar, müşteriler, toplama merkezleri ve ayırma merkezleridir. Kapalı döngü tedarik zincirinde bulunan bu elemanlar iki tip stratejiye göre çalışır: itme ve çekme. İtme-çekme sınırının farklı noktalarda bulunduğu sekiz adet model simülasyon yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir.

Tablo 3.1’de geliştirilen modellerdeki kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının stratejileri verilmiştir. Burada örneğin tedarikçi eğer çekme stratejisine göre çalışıyorsa elindeki hammaddelerin fabrikanın hammadde deposu tarafından çekilmesini bekleyecektir. Eğer tedarikçi itme stratejisine göre çalışıyorsa fabrikanın stok politikasını göz önünde bulundurarak hammaddeleri fabrikanın deposuna itecektir.

Tablo 3.1 Kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının stratejileri

	1. Model	2. Model	3. Model	4. Model	5. Model	6. Model	7. Model	8. Model
Tedarikçiler	çekme	çekme	çekme	itme	itme	itme	itme	itme
Fabrikalar	çekme	çekme	çekme	çekme	*	itme	itme	itme
Dağıtım Merkezleri	çekme	çekme	çekme	çekme	çekme	çekme	itme	itme
Toptancılar	çekme	çekme	çekme	çekme	çekme	çekme	çekme	itme
Müşteriler	çekme	itme	itme	itme	itme	itme	itme	itme
Toplama Merkezleri	çekme	çekme	itme	itme	itme	itme	itme	itme
Ayırma Merkezleri	çekme	çekme	çekme	itme	itme	itme	itme	itme

(*)5. modelde fabrika hibrit itme-çekme stratejisine göre çalışmaktadır. Şekil 3.15'te hibrit itme-çekme stratejisine göre çalışan fabrikanın algoritma şeması verilmiştir.

Modellerin yapısı ve varsayımları;

1. Müşteriler tarafından kullanıldıktan sonra toplama merkezlerinde toplanan depozitolu bir ürün için simülasyon modeli geliştirilmiştir.
2. Talepler günlük olarak gelmektedir ve gün sonunda karşılanamayan talepler için ceza maliyetine katlanılmaktadır.
3. Eğer bir kapalı döngü tedarik zinciri elemanının müsait durumda taşıma aracı yok ise ürünler araç müsait olana kadar stoklarda tutulmaktadır. Araç geldikten sonra sevkiyat gerçekleştirilmektedir.
4. Taşıma aracının kapasitesinin yeterli olduğu varsayılmıştır.
5. Stok tutma maliyetleri gün sonunda elde bulunan stok miktarları üzerinden hesaplanmıştır.
6. Satış ve hurda kazançlarından hammadde satın alma, yıkama, dolum, geri toplama, ayırma, ceza, taşıma, stok tutma maliyetleri çıkartılarak toplam kâr sonucunun elde edildiği bir model geliştirilmiştir.
7. Müşterilerin ürünleri kullanım süreleri belli bir dağılıma uygun olarak alınmıştır.
8. İtme stratejisini benimseyen kapalı döngü tedarik zinciri elemanları, (s,Q) stok politikasına göre çalışmaktadırlar.

9. Kapalı döngü tedarik zinciri elemanları, gün içerisinde ulaşılabilir konumlarda bulunmaktadır.
10. Toplama merkezleri aracılığıyla toplanan geri dönüşüm ürünleri ayırma merkezlerinde tasnif edilmektedir.
11. Perakendeciler müşteri olarak dikkate alınmıştır.

3.2. Simülasyon Modeli

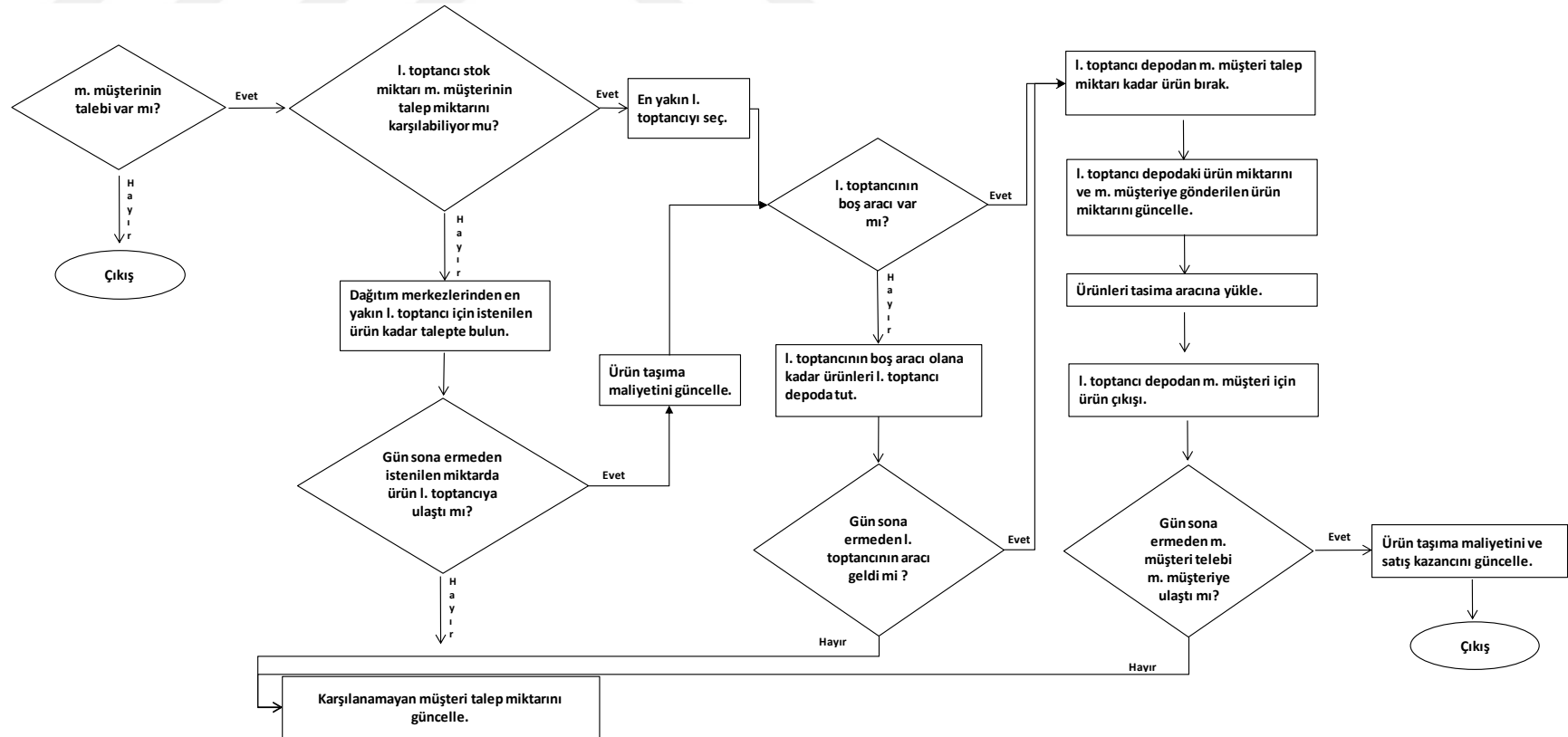
3.2.1 Notasyonlar

İndisler

i	tedarikçi kümesi
j	fabrika kümesi
k	dağıtım merkezi kümesi
l	toptancı kümesi
m	müşteri kümesi
n	toplama merkezi kümesi
p	ayırma merkezi kümesi
w	atık merkezi kümesi

3.2.2 Algoritma Şemaları

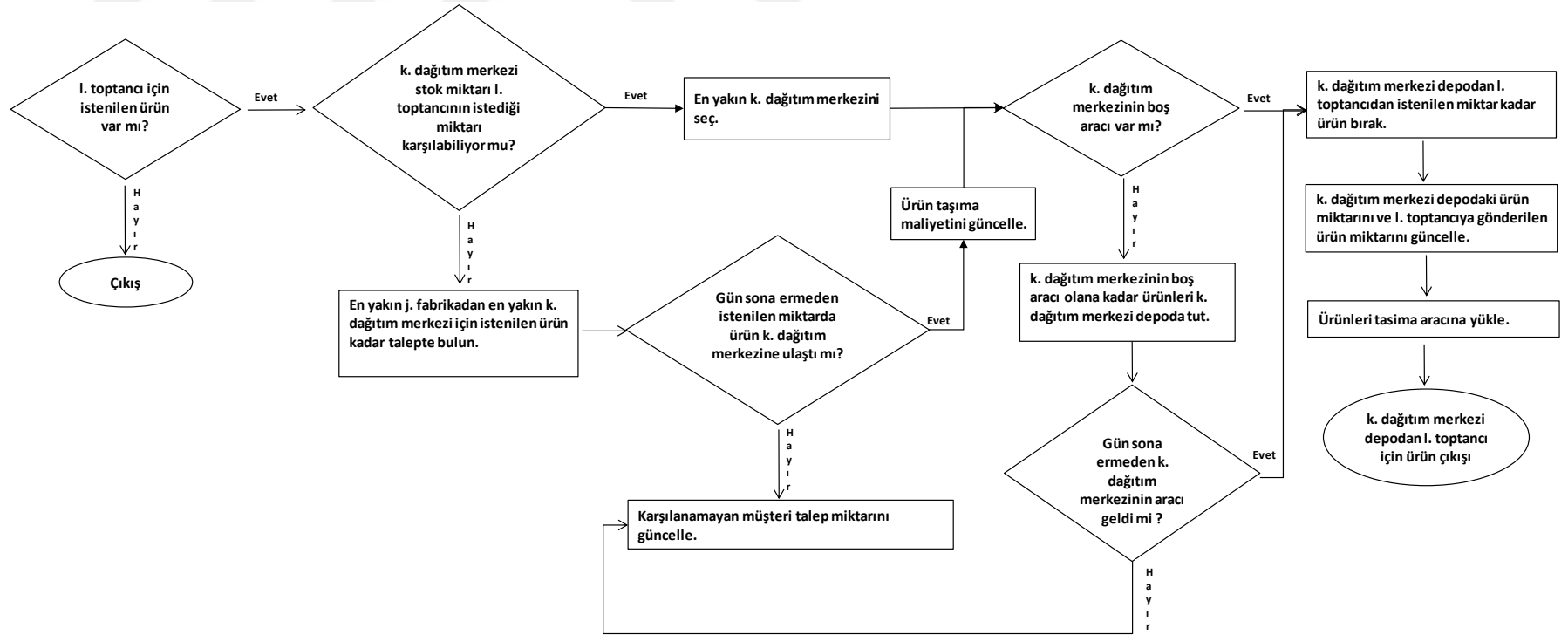
3.2.2.1 Çekme Stratejisine Göre Çalışan Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Elemanlarının Algoritma Şemaları



Şekil 3.1 Çekme stratejisine göre çalışan toptancının algoritma şeması

Şekil 3.1’de çekme stratejisine göre çalışan toptancının simülasyon modelindeki çalışma prensibi algoritma şeması olarak verilmiştir. Akış şu şekilde gerçekleşmektedir; müşteri talep varlığı sisteme girer ve sonrasında toptancıların stoklarını kontrol eder. Toptancıların stoklarında müşterinin talep ettiği miktarda ürün varsa öncelik en yakın toptancı olacak şekilde m. müşteri talebinin karşılanacağı toptancı seçilir. Sonrasında toptancının boş aracı olup olmadığı kontrol edilir. Araç boşta ise taşıma adımları sırasıyla uygulanır. Taşıma adımları; m. müşteri talebi kadar ürün bırakılır, l. toptancı stok miktarı ve m. müşteriye gönderilen ürün miktarı güncellenir, ürünler müşteriye ulaştıktan sonra taşıma maliyeti ve satış kazancı güncellenir. Eğer hiçbir toptancının stoklarında m. müşteri talebi kadar ürün bulunmuyorsa dağıtım merkezlerinden m. müşteriye en yakın l. toptancı için talepte bulunulur. Talep edilen miktarda ürün l. toptancıya ulaştıktan sonra ürün taşıma maliyeti güncellenir. Eğer boşta araç var ise taşıma adımları uygulanır ve l. toptancı depodan ürünler çıkar. Toptancının stoklarında ürün var fakat boş aracı yoksa boş araç gelene kadar m. müşteriye gönderilecek ürünler toptancı stok deposunda tutulur. Gün sona ermeden m. müşteri talebi karşılanamaz ise karşılanamayan talep değişkeni güncellenir.

Çekme stratejisine göre çalışan dağıtım merkezinin simülasyon modelindeki çalışma prensibinin algoritma şeması Şekil 3.2’de verilmiştir. Dağıtım merkezleri için akış l. toptancıdan gelen ürün isteği ile başlar. Dağıtım merkezlerindeki stok miktarı l. toptancının istediği miktarı karşılayabiliyorsa ve boş aracı varsa l. toptancıya en yakın olan k. dağıtım merkezi depodan l. toptancının istediği miktar kadar ürün bırakılır. k. dağıtım merkezi depodaki ürün miktarı ve l. toptancıya gönderilen ürün miktarı güncellendikten sonra ürünler l. toptancıya ulaştırılmak üzere taşıma aracına yüklenir. Eğer dağıtım merkezlerinde l. toptancının istediği ürün miktarını karşılayacak düzeyde stok bulunmuyorsa l. toptancıya en yakın olan k. dağıtım merkezi için fabrikalardan istenilen miktarda sipariş verilir. Siparişler k. dağıtım merkezine geldikten sonra taşıma maliyetleri güncellenir ve k. dağıtım merkezinin boşta aracı varsa taşıma adımları uygulanır ve k. dağıtım merkezi depodan ürünler çıkar. Gün bitmeden siparişler k. dağıtım merkezine ulaşmazsa karşılanamayan müşteri talep miktarı güncellenir. k. dağıtım merkezinin stoklarında yeterli ürün var fakat boş aracı yoksa araç k. dağıtım merkezine geri gelene kadar ürünler k. dağıtım merkezi depoda tutulmaya devam eder. Eğer araç gün sona ermeden k. dağıtım merkezine geri dönmezse karşılanamayan müşteri talep miktarı güncellenir.



Şekil 3.2 Çekme stratejisine göre çalışan dağıtım merkezinin algoritma şeması

Çekme stratejisine göre çalışan fabrikanın çalışma şeklini anlatan algoritma şeması Şekil 3.3'te verilmiştir. Akış k. dağıtım merkezinden gelen ürün isteği ile başlar. Fabrikaların stokları öncelik k. dağıtım merkezine en yakın fabrikadan olacak şekilde kontrol edilir. j. fabrika stokunda yeterli ürün varsa ve j. fabrikanın taşıma aracı boşsa ürünler sevkiyat hazırlığı için bırakılır. j. fabrika stoku ve k. dağıtım merkezine gönderilen ürün miktarı güncellenir. Sonrasında ürünler k. dağıtım merkezine gönderilmek üzere j. fabrikanın boş olan taşıma aracına yüklenir. Eğer fabrikaların stoklarında istenilen miktarda ürün yoksa fabrikaların hammadde stok miktarları kontrol edilir. k. dağıtım merkezi tarafından istenilen miktarda ürünü üretebilecek kadar hammadde varsa hammadde depodan hammaddeler çekilir ve sırasıyla yıkama ve dolum işlemlerine alınır. Ardından j. fabrika stok miktarı, yıkama ve dolum maliyetleri güncellenir. j. fabrikanın boşta aracı var ise ürünlere sevkiyat adımları uygulanır ve k. dağıtım merkezine taşınmak üzere yola çıkarılır. Eğer gün sona ermeden istenilen miktarda ürün üretilemez ise karşılanamayan müşteri talep miktarı güncellenir. Fabrikaların stoklarında yeterli hammadde yok ise ayırma merkezinden en yakın j. fabrika için hammadde talebinde bulunulur. Gün sona ermeden ürünler j. fabrikaya ulaşırsa işlem adımları uygulanır ve boşta araç varsa sevkiyat adımları uygulanarak j. fabrika deposundan yola çıkarılır. Eğer hammaddeler gün sona ermeden j. fabrika hammadde deposuna ulaşmadı ise karşılanamayan müşteri talep miktarı güncellenir.

Şekil 3.4'te çekme stratejisine göre çalışan ayırma merkezinin simülasyon modelindeki çalışma prensibi algoritma şeması olarak verilmiştir. Ayırma merkezlerinde akış j. fabrika için istenen hammadde talebinin gelmesiyle başlar. Ayırma merkezlerinin stok miktarları kontrol edilir. j. fabrikanın istediği miktarı karşılayabilecek stok düzeyine sahip ve j. fabrikaya en yakın olan p. ayırma merkezi seçilir. Eğer p. ayırma merkezinin boşta aracı varsa sevkiyat adımları uygulanır ve j. fabrikaya gönderilmek üzere hammaddeler p. ayırma merkezi deposundan çıkarılır. Eğer boşta araç yoksa araç gelene kadar hammaddeler p. ayırma merkezi depoda bekletilir. Gün sona ermeden araç geldiyse hammaddeler yola çıkarılır. Araç gün sona ermeden gelmediyse karşılanamayan müşteri talep miktarı güncellenir. Eğer ayırma merkezi depolarında j. fabrika için istenen miktar kadar hammadde yoksa toplama merkezlerinden j. fabrikaya en yakın olan p. ayırma merkezi için geri dönüşüm ürünü talebinde bulunulur. Gün sona ermeden istenilen miktarda ürün p. ayırma merkezi deposuna ulaşmışsa p. ayırma merkezi deposundaki miktar ve ürün taşıma maliyetleri güncellenir. Sonrasında geri dönüşüm ürünleri ayırma

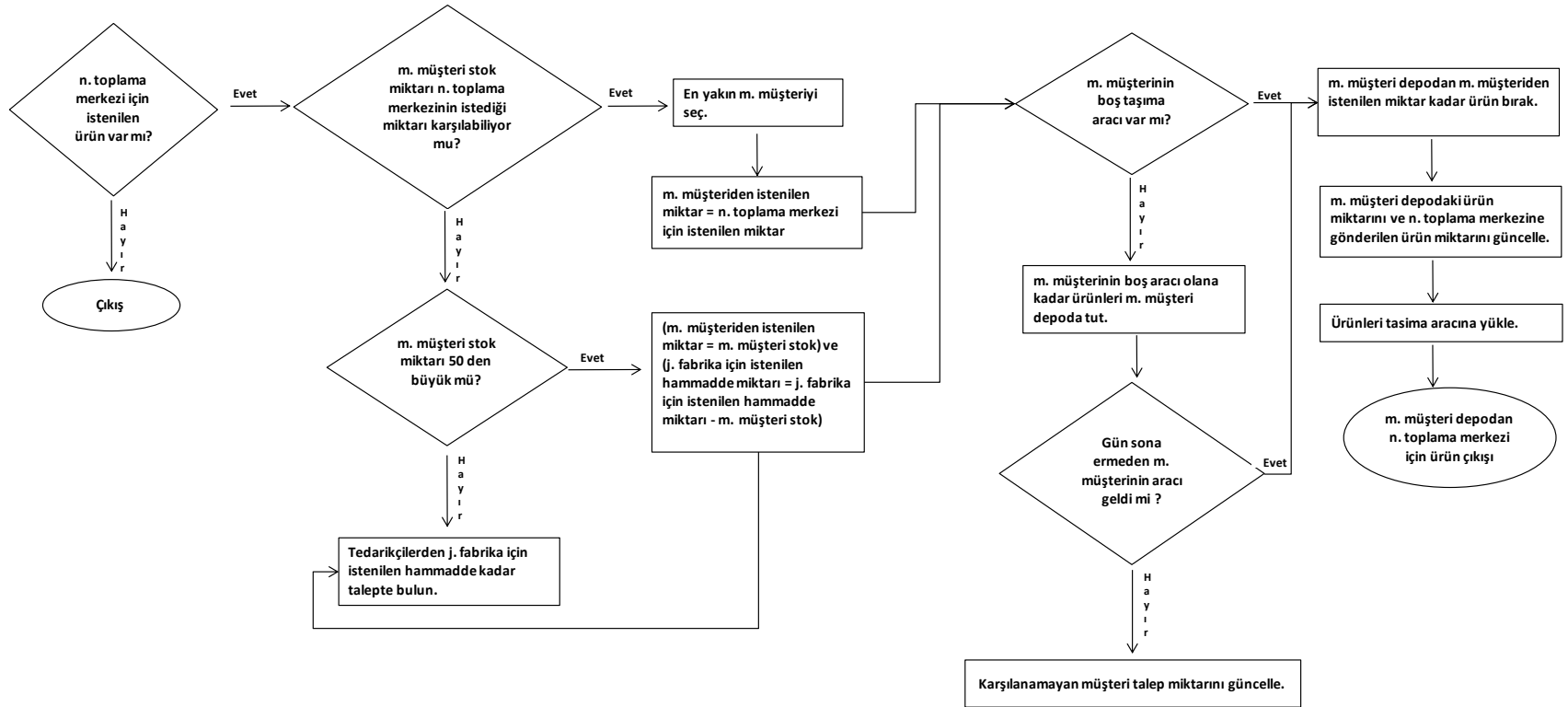
işleminden geçirilir ve ayırma maliyetleri güncellenir. Burada ayırma işleminden sonra ürünler durumlarına göre geri dönüşen hammadde, hurda ya da atık olarak ayrılır. Ayırma merkezindeki ürün miktarları, geri dönüşen hammadde, hurda ve atık miktarları güncellenir. p. ayırma merkezinin boşta aracı varsa geri dönüşen hammadde depodan j. fabrikanın istediği miktar kadar hammadde bırakılır ve sevkiyat adımları uygulanır. Hurdalar 100'lük partiler halinde satılır. Atıklar ise 100'lük partiler halinde atık tesislerine taşınır ve sonrasında bertaraf edilir.

Çekme stratejisine göre çalışan tedarikçinin çalışma şeklini anlatan algoritma şeması Şekil 3.5'te verilmiştir. Tedarikçi için akış j. fabrikadan hammadde isteğinin gelmesi ile başlamaktadır. Eğer tedarikçilerde j. fabrikanın istediği miktarı karşılayabilecek düzeyde stok var ise öncelik j. fabrikaya en yakın olan tedarikçi olacak şekilde tedarikçi seçilir. Seçilen i. tedarikçinin taşıma aracı boşta ise i. tedarikçi depodan j. fabrika için istenilen miktar kadar hammadde bırakılır. i. tedarikçi depodaki ürün miktarı ve j. fabrikaya gönderilen hammadde miktarı güncellenir. Hammaddeler j. fabrikaya gönderilmek üzere taşıma aracına yüklenir. Eğer i. tedarikçinin boşta taşıma aracı yoksa, taşıma aracı gelene kadar hammaddeler i. tedarikçinin deposunda tutulur. Gün sona ermeden hammaddeler j. fabrikaya ulaştırılamaz ise karşılanamayan talep miktarı güncellenir. Tedarikçilerde j. fabrikadan istenilen miktarı karşılayabilecek düzeyde hammadde yok ise ayırma merkezlerindeki geri dönüşüm ürünü stok miktarının istenilen miktara ulaşması beklenir.

Şekil 3.6'da çekme stratejisine göre çalışan toplama merkezinin simülasyon modelindeki çalışma prensibi algoritma şeması olarak verilmiştir. p. ayırma merkezinin toplama merkezlerinden geri dönüşüm ürünü isteği ile akış başlar. Toplama merkezlerinin stoklarında p. ayırma merkezinin istediği miktarda geri dönüşüm ürünü varsa öncelik en yakın toplama merkezi olacak şekilde p. ayırma merkezinin istediği miktarın karşılanacağı toplama merkezi seçilir. Sonrasında toplama merkezinin boş aracı olup olmadığı kontrol edilir. Araç boşta ise taşıma adımları sırasıyla uygulanır. Eğer hiçbir toplama merkezinin stoklarında p. ayırma merkezinin istediği kadar geri dönüşüm ürünü bulunmuyorsa müşterilerden p. ayırma merkezine en yakın n. toplama merkezi için istekte bulunulur. İstenilen miktarda geri dönüşüm ürünü n. toplama merkezine ulaştıktan sonra ürün taşıma maliyeti ve geri toplama maliyeti güncellenir. Eğer boşta araç var ise taşıma adımları uygulanır ve n. toplama merkezi depodan ürünler çıkar. n. toplama merkezinin stoklarında ürün var fakat boş aracı yoksa boş araç gelene kadar p. ayırma

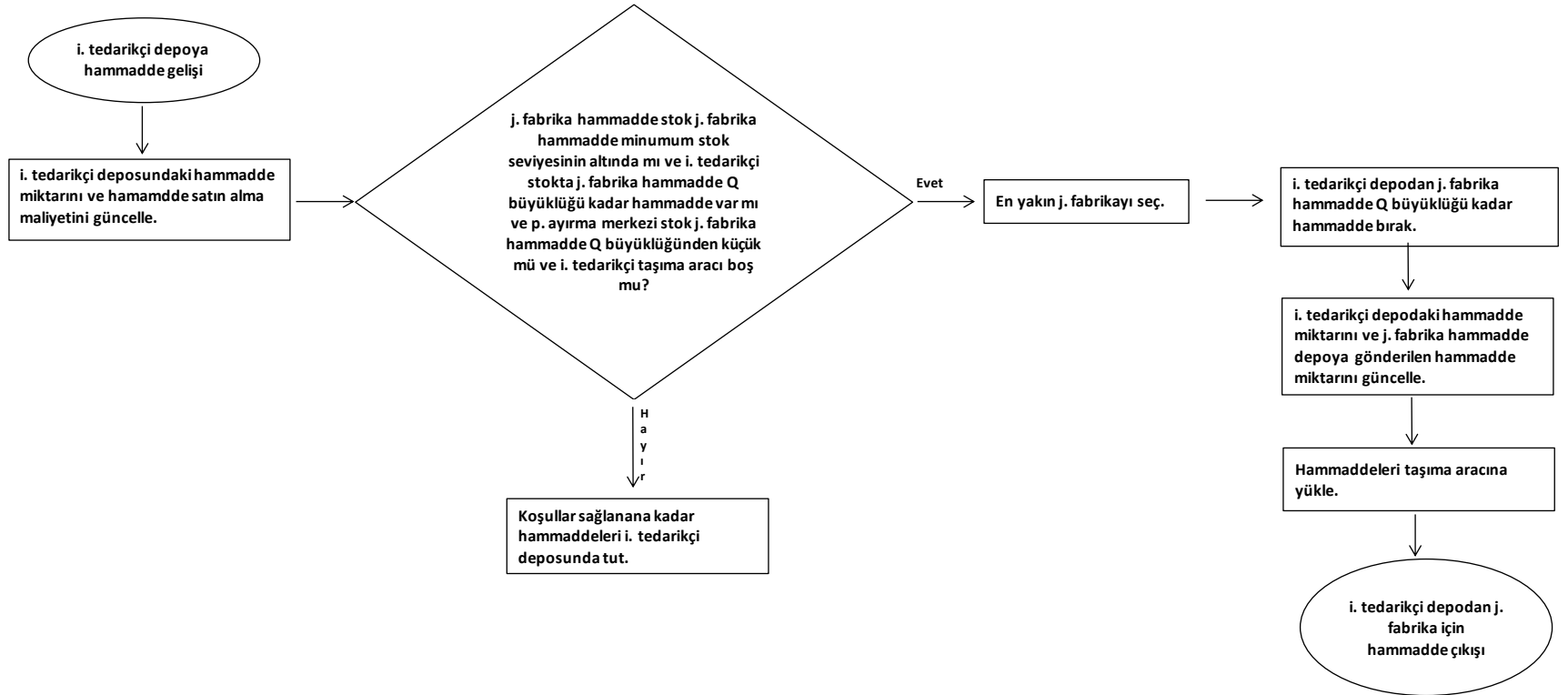
merkezine gönderilecek ürünler n. toplama merkezi stok deposunda tutulur. Gün sona ermeden p. ayırma merkezinin istediği miktar gönderilmez ise karşılanamayan talep değişkeni güncellenir.

Çekme stratejisine göre çalışan müşterinin çalışma şeklini anlatan algoritma şeması Şekil 3.7’de verilmiştir. Akış, n. toplama merkezinden geri dönüşüm ürünü isteği ile başlar. Müşterilerin stoklarında n. toplama merkezinin istediği miktar kadar stok bulunuyorsa öncelik n. toplama merkezine en yakın olma şartı ile geri dönüşüm ürünlerinin çekileceği müşteri seçilir. Seçilen m. müşterinin taşıma aracı boşta ise taşıma adımları uygulanır ve m. müşteri depodan geri dönüşüm ürünleri n. toplama merkezine gönderilmek üzere yola çıkarılır. Eğer taşıma aracı boşta değil ise taşıma aracı m. müşteri depoya gelene kadar geri dönüşüm ürünler depoda tutulur. Gün sona ermeden taşıma aracı m. müşteri depoya ulaşmaz ise karşılanamayan talep değişkeni güncellenir. m. müşterilerde n. toplama merkezinden istenilen miktarda geri dönüşüm ürünü yok ise stok miktarı 50’den büyük olan müşterilerden öncelik n. toplama merkezine en yakın olacak şekilde ürünler çekilir. Müşterilerin araçları uygun ise taşıma adımları uygulanır. İstenilen geri dönüşüm ürünü miktarı güncellenir. Müşterilerin ellerindeki miktarların toplamı istenilen geri dönüşüm ürünü miktarını karşılamıyor ise karşılanamayan miktar tedarikçilerden istenir.



Şekil 3.7 Çekme stratejisine göre çalışan müşterinin algoritma şeması

3.2.2.2 İtme Stratejisine Göre Çalışan Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Elemanlarının Algoritma Şemaları



Şekil 3.8 İtme stratejisine göre çalışan tedarikçinin algoritma şeması

Şekil 3.8’de itme stratejisine göre çalışan tedarikçinin algoritma şeması verilmiştir. Bu kısımdaki akış; hammaddelerin i. tedarikçi depoya gelişi ile başlar. j. fabrika depodaki hammadde miktarları ve hammadde satın alma maliyeti güncellenir. Sonrasında sırasıyla aşağıda verilen dört koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir;

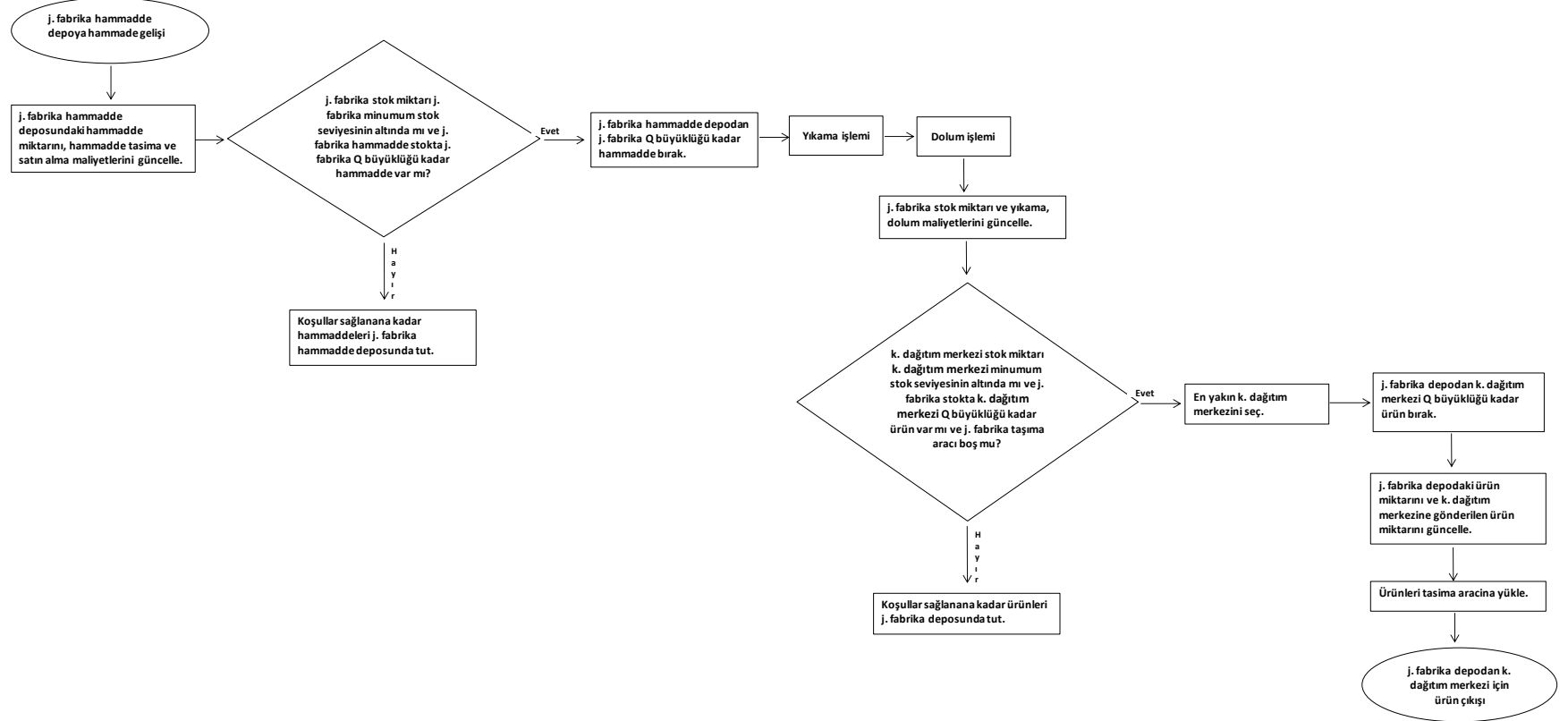
- ✓ j. fabrika hammadde stok miktarı j. fabrika hammadde minimum stok seviyesinin altında mı?
- ✓ i. tedarikçi stokta j. fabrika hammadde Q büyüklüğü kadar hammadde var mı?
- ✓ p. ayırma merkezi stoklarındaki geri dönüşen hammadde miktarı j. fabrika hammadde Q büyüklüğünden küçük mü?
- ✓ i. tedarikçi taşıma aracı boş mu?

j. fabrika hammadde Q büyüklüğü kadar hammadde bu koşulları sağlayan en yakın j. fabrikaya gönderilmek üzere bırakılır ve taşıma adımları uygulanır. Eğer koşullardan en az biri sağlanmıyorsa sağlanana kadar hammaddeler i. tedarikçi depoda tutulur.

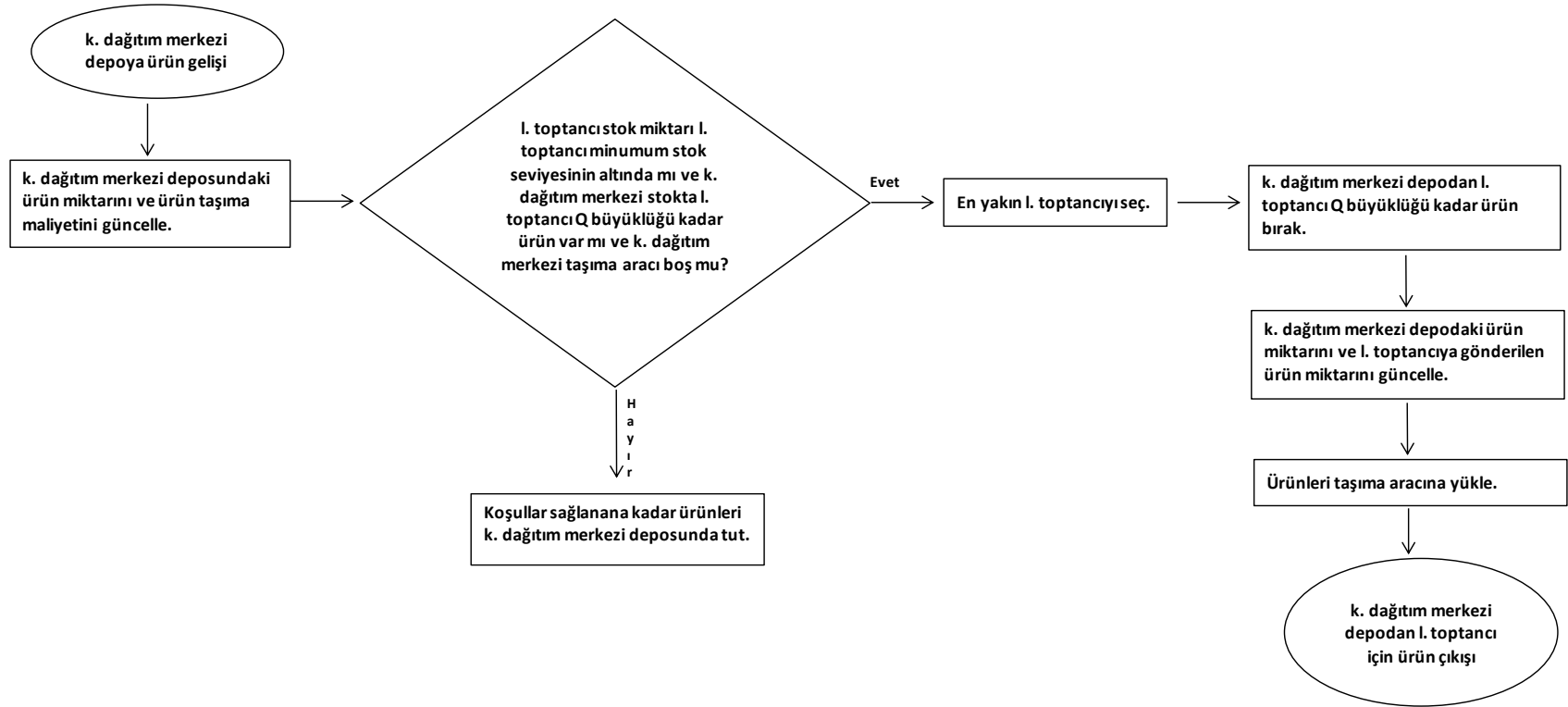
İtme stratejisine göre çalışan fabrikanın algoritma şeması Şekil 3.9’da verilmiştir. j. fabrika için akış hammadde depoya hammadde gelişi ile başlar. j. fabrika hammadde deposundaki hammadde miktarı, taşıma ve satın alma maliyetleri güncellenir. Ardından j. fabrika stok miktarı j. fabrika minimum stok seviyesinin altında olup olmadığı ve j. fabrika hammadde stokta j. fabrika Q büyüklüğü kadar hammadde olup olmadığı kontrol edilir. Eğer bu iki koşulda sağlanıyorsa j. fabrika hammadde depodan j. fabrika Q büyüklüğü kadar hammadde bırakılır. Hammaddeler sırasıyla yıkama ve dolum işlemleri uygulanır. Bu işlemlerin ardından j. fabrika stok miktarı, yıkama ve dolum maliyetleri güncellenir. Daha sonra aşağıda sıralan üç koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir;

- ✓ k. dağıtım merkezi stok miktarı k. dağıtım merkezi minimum stok seviyesinin altında mı?
- ✓ j. fabrika stokta k. dağıtım merkezi Q büyüklüğü kadar ürün var mı?
- ✓ j. fabrika taşıma aracı boş mu?

Eğer yukarıda sıralanan üç koşulda sağlanıyor ise bu koşulları sağlayan en yakın k. dağıtım merkezi için k. dağıtım merkezi Q büyüklüğü kadar ürün bırakılır ve taşıma adımları uygulanır. Eğer bu üç koşuldan en az biri sağlanmıyorsa tüm koşullar sağlanana kadar ürünler j. fabrikada bitmiş ürün deposunda tutulur.



Şekil 3.9 İtme stratejisine göre çalışan fabrikanın algoritma şeması



Şekil 3.10 İtme stratejisine göre çalışan dağıtım merkezinin algoritma şeması

İtme stratejisine göre çalışan dağıtım merkezinin algoritma şeması Şekil 3.10'da verilmiştir. Dağıtım merkezleri için ürün akışı ürünlerin k. dağıtım merkezi depoya gelişi ile başlar. k. dağıtım merkezi depodaki ürün miktarları ve ürün taşıma maliyetleri güncellenir. Daha sonra aşağıda sıralanan üç koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir;

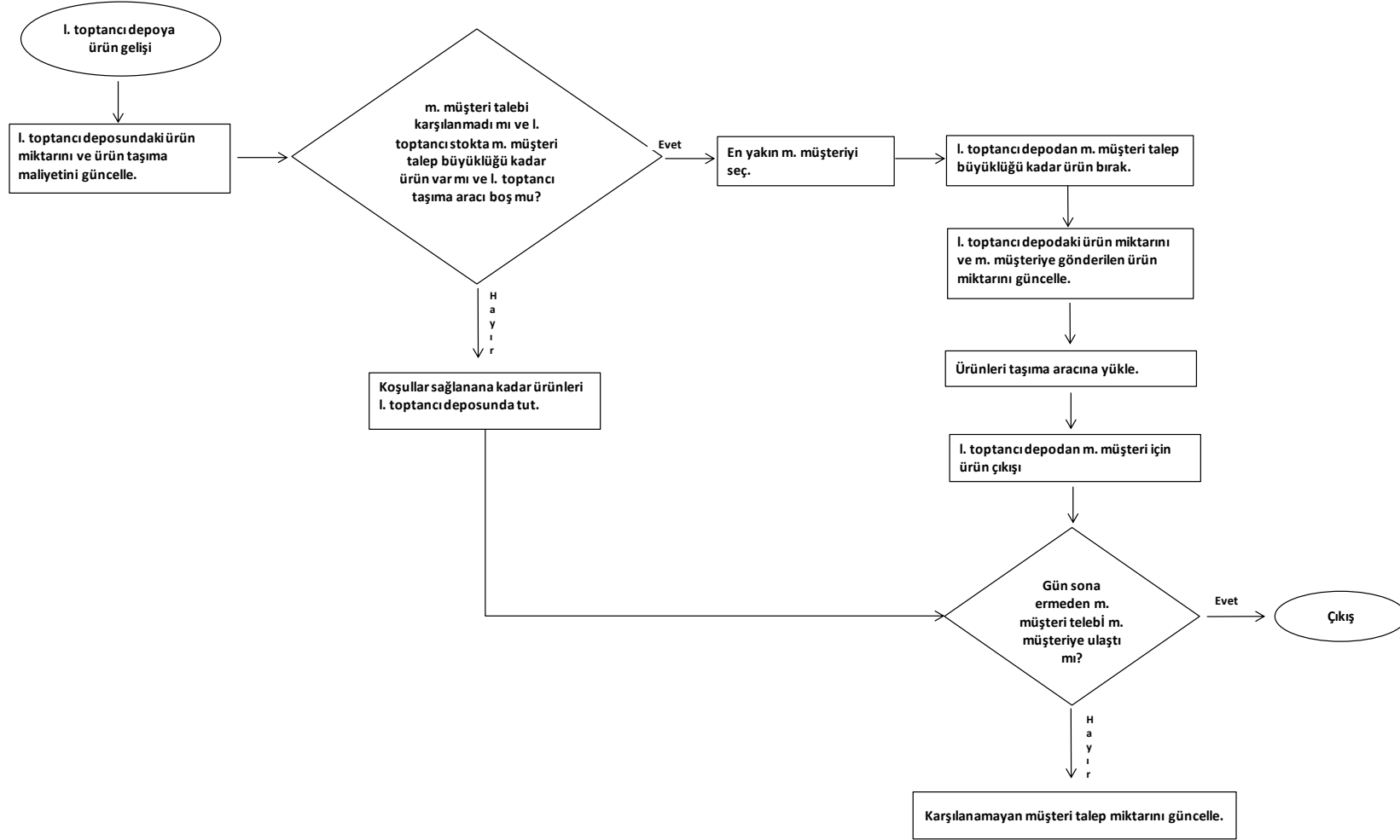
- ✓ l. toptancı stok miktarı l. toptancı minimum stok seviyesinin altında düştü mü?
- ✓ k. dağıtım merkezi stokta l. toptancı Q büyüklüğü kadar ürün var mı?
- ✓ k. dağıtım merkezi boş aracı var mı?

Bu koşulların sağlandığı durumda öncelik en yakın l. toptancı olacak şekilde l. toptancı Q büyüklüğü kadar ürün l. toptancıya gönderilmek üzere bırakılır. k. dağıtım merkezi depodaki stok miktarları ve l. toptancıya gönderilen ürün miktarları güncellendikten sonra ürünler taşıma aracına yüklenir ve l. toptancıya teslim edilmek üzere yola çıkarılır. Eğer yukarıda belirtilen koşullardan en az biri sağlanmıyorsa koşullar sağlanana kadar ürünler k. dağıtım merkezi depoda tutulur.

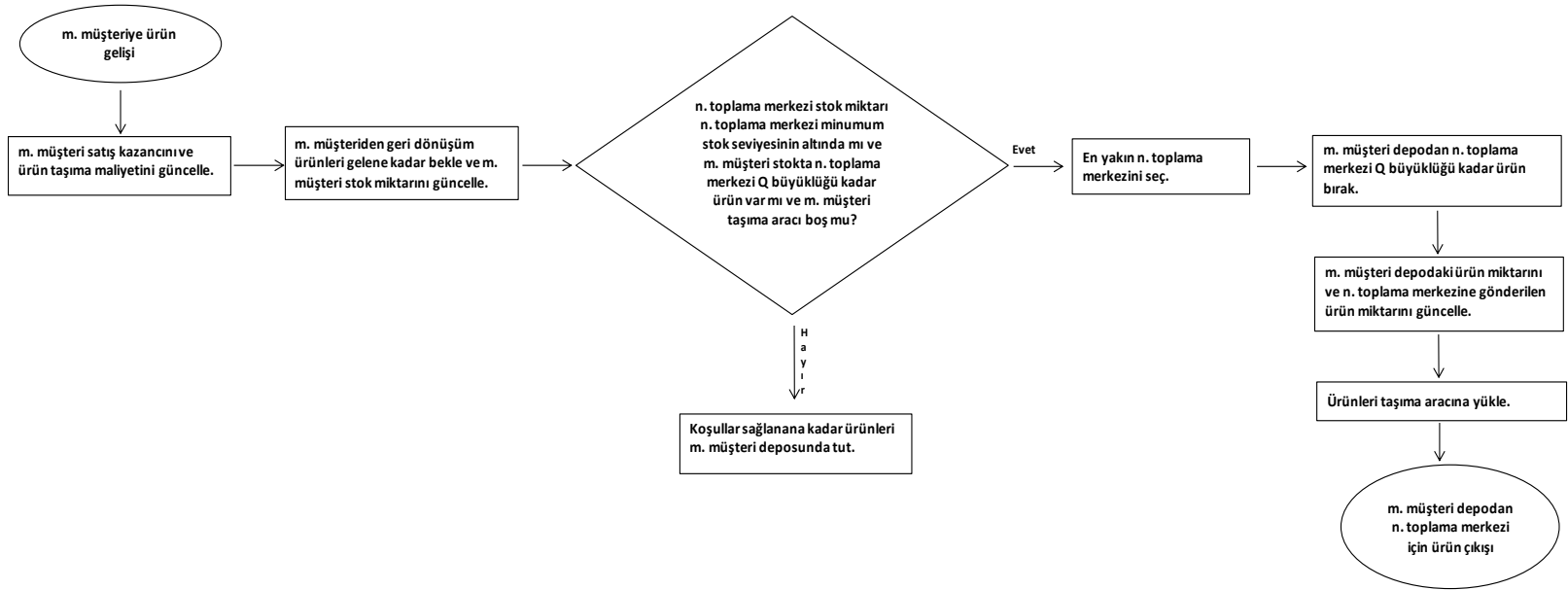
Şekil 3.11'de itme stratejisine göre çalışan toptancının algoritma şeması verilmiştir. Bu kısımdaki akış; ürünlerin toptancı depoya gelişi ile başlar. l. toptancı depodaki ürün miktarları ve ürün taşıma maliyetleri güncellenir. Ardından aşağıda verilen üç tane koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir;

- ✓ m. müşteri talebi karşılanmadı mı?
- ✓ l. toptancı deposundaki stok miktarı m. müşterinin talebini karşılayabiliyor mu?
- ✓ l. toptancının boş aracı var mı?

Bu koşullar sağlanıyor ise öncelik en yakın müşteri olacak şekilde m. müşteri talebi kadar ürün m. müşteriye gönderilmek üzere bırakılır. l. toptancı depodaki stok miktarları ve m. müşteriye gönderilen ürün miktarları güncellendikten sonra ürünler taşıma aracına yüklenir ve m. müşteriye teslim edilmek üzere yola çıkar. Eğer koşullardan en az biri sağlanmıyorsa koşullar sağlanana kadar ürünler l. toptancı depoda tutulur. Gün sona ermeden ürünler m. müşteriye ulaştırılmadıysa m. müşteriye ait talep miktarı karşılanamayan talep olarak güncellenir.



Şekil 3.11 İtme stratejisine göre toptancının algoritma şeması



Şekil 3.12 İtme stratejisine göre çalışan müşterinin algoritma şeması

Şekil 3.12’de itme stratejisine göre çalışan müşterinin algoritma şeması verilmiştir. Akış; ürünlerin m. müşteriye gelişi ile başlar. m. müşteriden elde edilen satış kazancı ve ürün taşıma maliyetleri güncellenir. Geri dönüşüm ürünlerinin gelmesi ile m. müşteri depodaki geri dönen hammadde stok miktarı değeri güncellenir ve aşağıda verilen koşulların sağlanması beklenir.

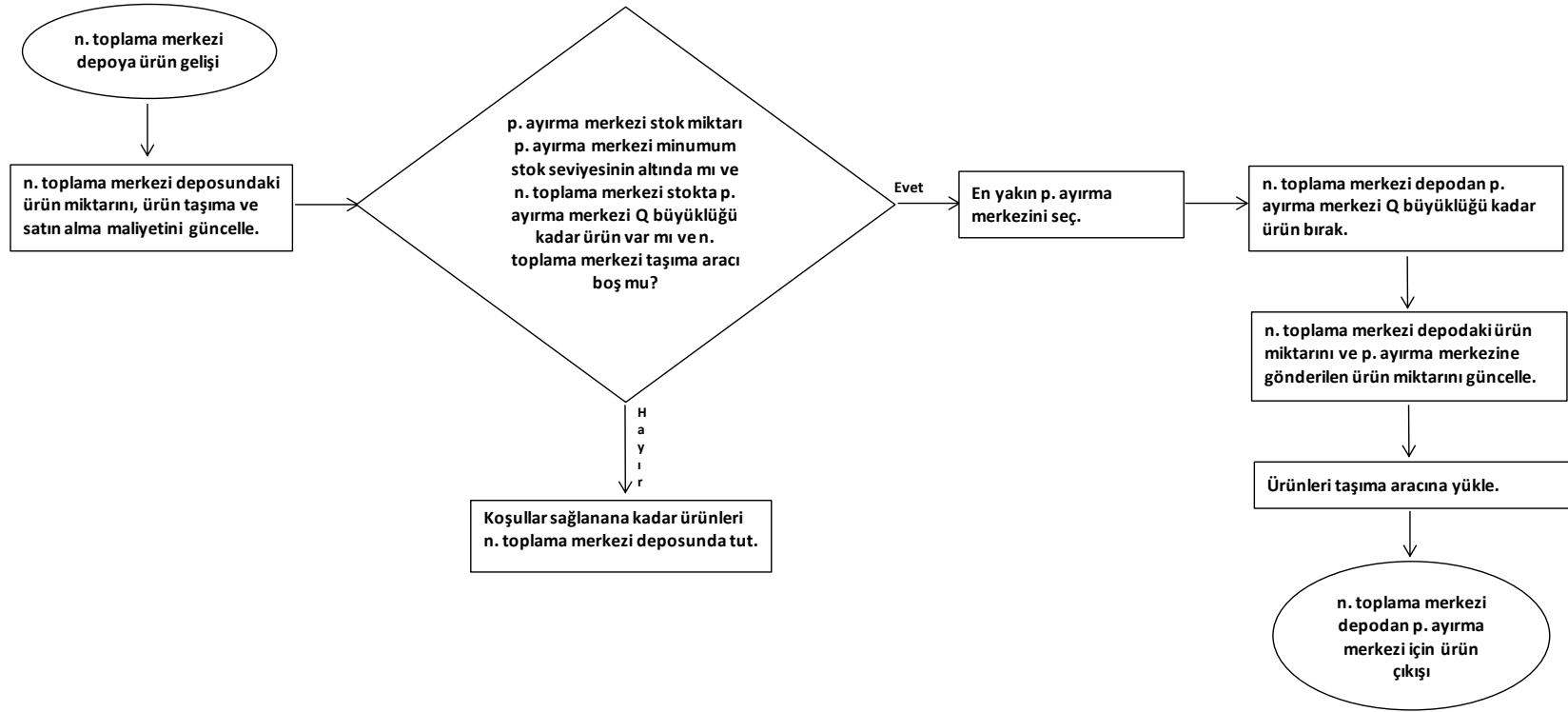
- ✓ n. toplama merkezi stok miktarı n. toplama merkezi minimum stok seviyesinin altında mı?
- ✓ m. müşteri stokta n. toplama merkezi Q büyüklüğü kadar ürün var mı?
- ✓ m. müşteri taşıma aracı boş mu?

Bu koşullar sağlanıyor ise öncelik en yakın n. toplama merkezi olacak şekilde n. toplama merkezi Q büyüklüğü kadar geri dönüşüm ürünü n. toplama merkezine gönderilmek üzere bırakılır. m. müşteri geri dönen hammadde depodaki stok miktarları ve n. toplama merkezine gönderilen ürün miktarları güncellendikten sonra ürünler taşıma aracına yüklenir ve n. toplama merkezine teslim edilmek üzere yola çıkar. Eğer yukarıda verilmiş olan koşullar sağlanmıyorsa koşullar sağlanana kadar ürünler m. müşteri depoda tutulur.

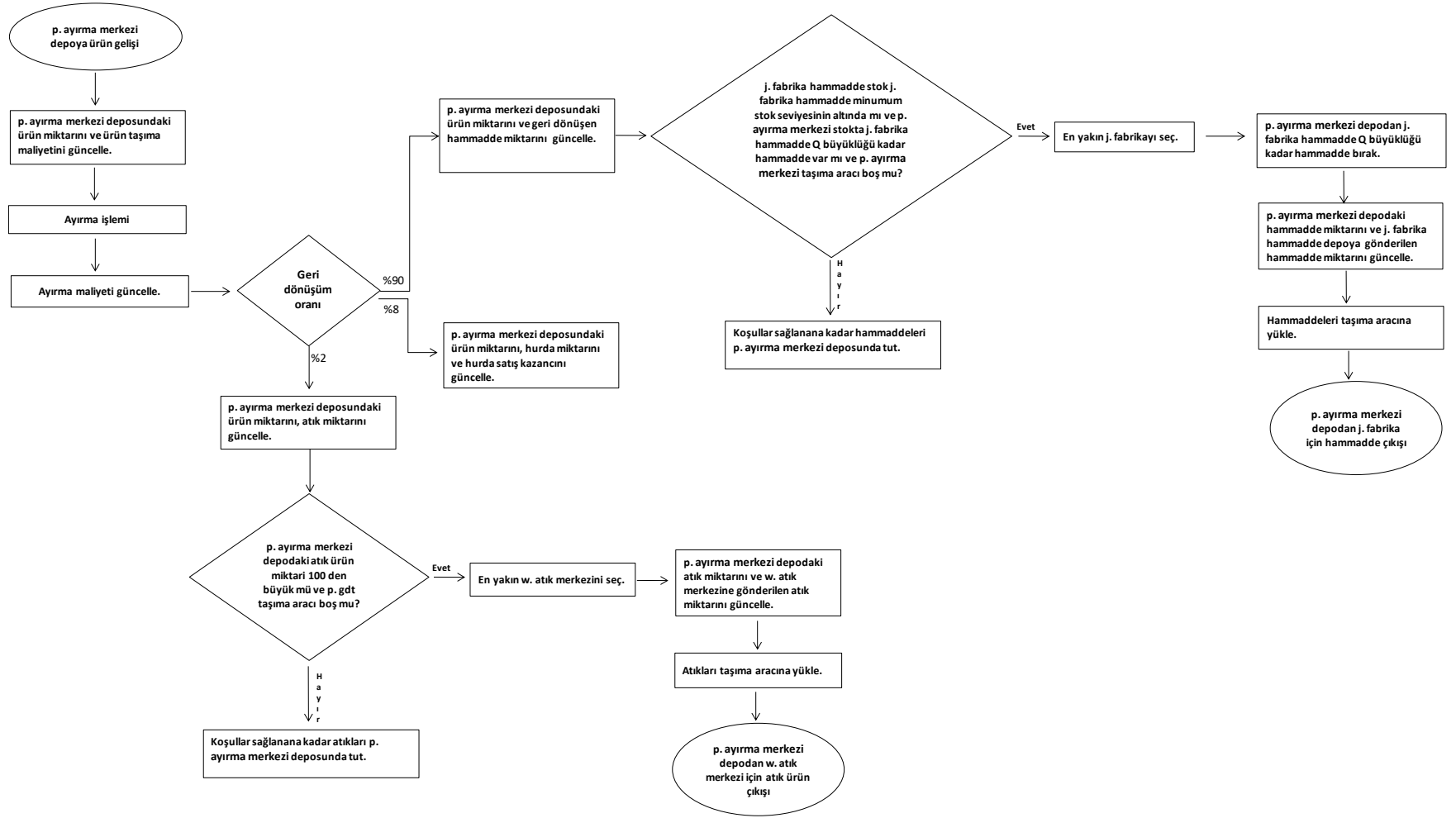
İtme stratejisine göre çalışan toplama merkezinin algoritma şeması Şekil 3.13’te verilmiştir. n. toplama merkezi için akış geri dönüşüm ürünlerinin n. toplama merkezi depoya gelişi ile başlar. n. toplama merkezi depodaki geri dönüşüm ürünü miktarı, hammadde satın alma ve taşıma maliyeti güncellenir. Daha sonra aşağıda sıralanan üç koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir;

- ✓ p. ayırma merkezi stok miktarı p. ayırma merkezi minimum stok seviyesinin altında mı?
- ✓ n. toplama merkezi stokta p. ayırma merkezi Q büyüklüğü kadar ürün var mı?
- ✓ n. toplama merkezi taşıma aracı boş mu?

Bu koşulları sağlayan en yakın p. ayırma merkezine gönderilmek üzere p. ayırma merkezi Q büyüklüğü kadar geri dönüşüm ürünü bırakılır. n. toplama merkezi depodaki stok miktarları ve p. ayırma merkezine gönderilen geri dönüşüm ürünü miktarı güncellenir ve ürünler taşıma aracına yüklenir. Ardından p. ayırma merkezine teslim edilmek üzere yola çıkarılır. Eğer yukarıda sıralanan koşullardan en az biri sağlanmıyorsa koşullar sağlanana kadar ürünler n. toplama merkezi depoda tutulur.



Şekil 3.13 İtme stratejisine göre çalışan toplama merkezinin algoritma şeması



Şekil 3.14 İtme stratejisine göre çalışan ayırma merkezinin algoritma şeması

İtme stratejisine göre çalışan ayırma merkezinin algoritma şeması Şekil 3.14'te verilmiştir. Bu kısımda akış; geri dönüşüm ürünlerinin p. ayırma merkezi depoya gelişi ile başlar. p. ayırma merkezi depodaki geri dönüşüm ürünü miktarı ve taşıma maliyeti güncellenir. Daha sonra geri dönüşüm ürünler ayırma işleminden geçirilir ve ayırma maliyeti güncellenir. Geri toplanan ürünler, geri dönüşen hammadde, atık ve hurda olmak üzere gruplandırılır. p. ayırma merkezi depodaki geri dönüşüm ürünü, geri dönüşen hammadde, atık ve hurda miktarları güncellenir. Ardından geri dönüşen hammaddeler için aşağıda sıralanan koşulların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir;

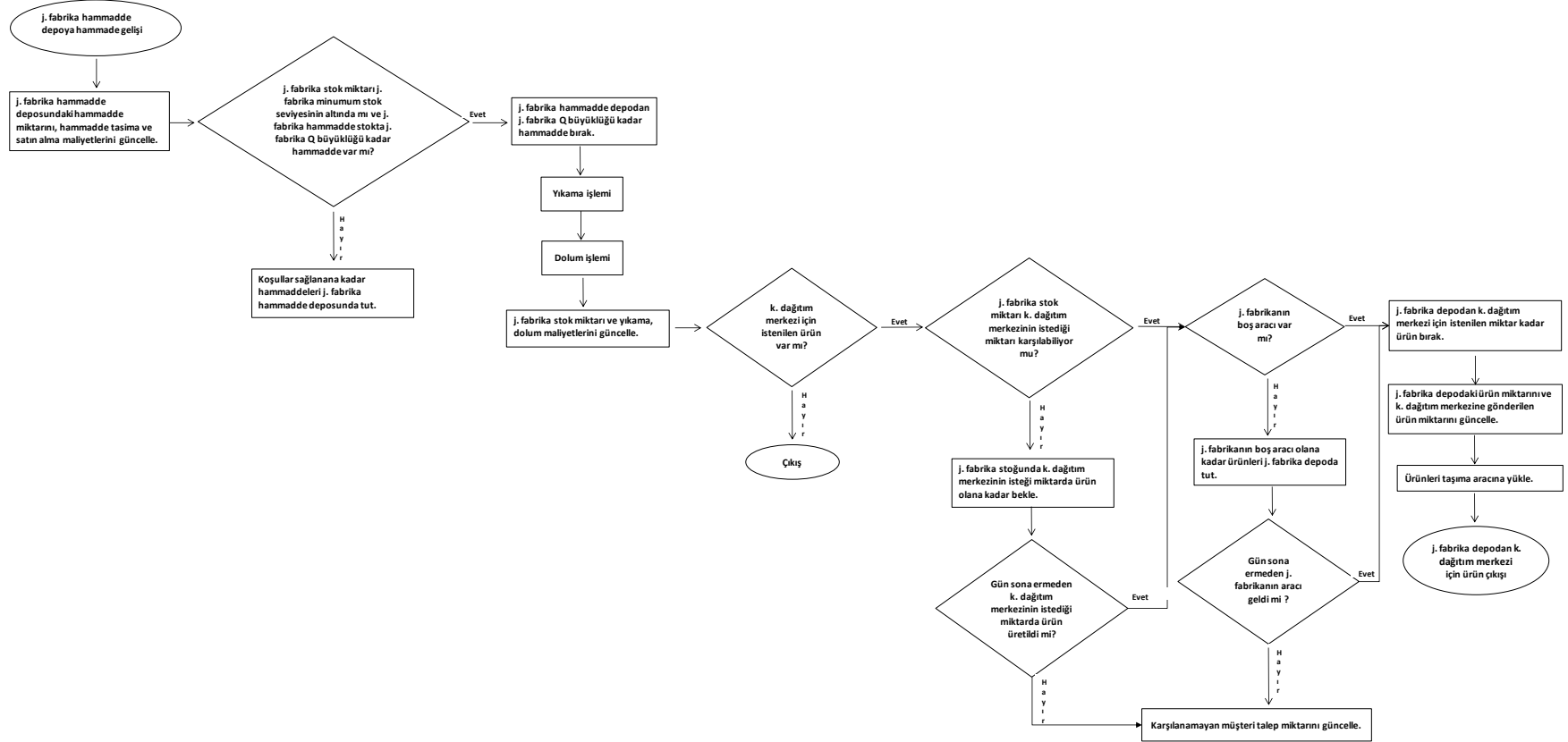
- ✓ j. fabrika hammadde stok miktarı j. fabrika hammadde minimum stok seviyesinin altında mı?
- ✓ p. ayırma merkezi stokta j. fabrika hammadde Q büyüklüğü kadar hammadde var mı?
- ✓ p. ayırma merkezi taşıma aracı boş mu?

Bu koşulları sağlayan en yakın j. fabrikaya gönderilmek üzere j. fabrika hammadde Q büyüklüğü kadar geri dönüşen hammadde bırakılır. p. ayırma merkezi depodaki geri dönüşen hammadde miktarı ve j. fabrikaya gönderilen geri dönüşen hammadde miktarı güncellenir ve ürünler taşıma aracına yüklenir. Ardından j. fabrikaya teslim edilmek üzere yola çıkarılır. Eğer yukarıda sıralanan koşullardan en az biri sağlanmıyorsa koşullar sağlanana kadar geri dönüşen hammaddeler p. ayırma merkezi depoda tutulur. Diğer taraftan hurdaya satılan hammaddelerden elde edilen satış kazancı güncellenir ve atıklar için aşağıda verilen iki koşulun sağlanıp sağlanmama durumları kontrol edilir;

- ✓ p. ayırma merkezi depodaki atık miktarı 100'den büyük mü?
- ✓ p. ayırma merkezi taşıma aracı boş mu?

Belirtilen koşullar sağlandığı durumda en yakın w. atık tesisine taşınmak üzere atıklar bırakılır. p. ayırma merkezi deposundaki atık miktarı w. atık merkezine gönderilen atık miktarını güncellenir. Sonrasında ürünler taşıma aracına yüklenir ve w. atık merkezinde bertaraf edilir. Eğer yukarıda verilen koşullardan en az biri sağlanmıyor ise sağlanana kadar atıklar p. ayırma merkezi depoda tutulur.

3.2.2.3 Hibrit İtme-Çekme Stratejisine Göre Çalışan Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Elemanlarının Algoritma Şemaları



Şekil 3.15 Hibrit itme-çekme stratejisine göre çalışan fabrikanın algoritma şeması

Şekil 3.15'te hibrit strateji ile çalışan fabrikanın algoritma şeması verilmiştir. Burada üretim kısmına kadar itme stratejisi, sevkiyat kısmında ise çekme stratejisi benimsenmiştir.

Akış j. fabrika hammadde depoya hammadde gelişi ile başlar. j. fabrika hammadde deposundaki hammadde miktarı, taşıma ve satın alma maliyetleri güncellenir. Ardından aşağıda verilen iki koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

- ✓ j. fabrika stok miktarı j. fabrika minimum stok seviyesinin altında mı?
- ✓ j. fabrika hammadde stokta j. fabrika Q büyüklüğü kadar hammadde var mı?

Eğer bu iki koşulda sağlanıyorsa j. fabrika hammadde depodan j. fabrika Q büyüklüğü kadar hammadde bırakılır. Hammaddeler sırasıyla yıkama ve dolum işlemleri uygulanır. Bu işlemlerin ardından j. fabrika stok miktarı, yıkama ve dolum maliyetleri güncellenir. k. dağıtım merkezinin j. fabrikadan ürün isteği yoksa akış sona erer. Eğer k. dağıtım merkezinin j. fabrikadan istediği ürün var ise j. fabrika stoku kontrol edilir. j. fabrika stokunda yeterli ürün varsa ve j. fabrikanın taşıma aracı boşsa ürünler sevkiyat hazırlığı için bırakılır. j. fabrika stoku ve k. dağıtım merkezine gönderilen ürün miktarı güncellenir. Sonrasında ürünler k. dağıtım merkezine gönderilmek üzere j. fabrikanın boş olan taşıma aracına yüklenir. Eğer j. fabrikanın stoklarında istenilen miktarda ürün yoksa j. fabrika stokunda k. dağıtım merkezinin isteği miktarda ürün olana kadar beklenir. Gün sona ermeden istenilen miktarda ürün üretilmez ise karşılanamayan müşteri talebi değişkeni güncellenir. Eğer j. fabrikanın stoklarında k. dağıtım merkezinin istediği miktarda ürün varsa fakat j. fabrikanın boş taşıma aracı yoksa ürünler j. fabrikanın taşıma aracı boş olana kadar bekler. Gün sona ermeden j. fabrikanın taşıma aracı gelmezse karşılanamayan müşteri talebi değişkeni güncellenir. Araç gün sona ermeden j. fabrika deposuna ulaşırsa taşıma adımları uygulanır ve j. fabrika depodan k. dağıtım merkezine taşınmak üzere ürün çıkışı gerçekleşir.

3.3. Sonuçlar

Geliştirilen modeller 1 tedarikçi, 1 fabrika, 2 dağıtım merkezi, 2 toptancı, 5 müşteri, 2 toplama merkezi, 1 ayırma merkezi ve 1 atık merkezi için oluşturulan örnek bir veri seti üzerinde çalıştırılmıştır.

Modellerde müşteri taleplerinin sisteme ilk gelişleri ve talep miktarları dinamik olarak gerçekleşmektedir. Müşteri taleplerinin sisteme ilk gelişleri UNIF(0,120) dakika dağılımına göre sonrasında 720 dakikada bir olacak şekilde ve talep miktarları UNIF(184,233) adet dağılımına göre gelmektedir. Yıkama işlemi 20 saniye, dolum işlemi 15 saniye ve ayırıştırma işlemi 20 saniye sürmektedir. Taşıma işlemini yapan araçlara ürünlerin indirilmesi ve yüklenmesi 10 dakika sürmektedir. Araçların hızı 70 km/saattir.

Tedarikçiden hammadde satın alma maliyeti 2,75 ₺/adet, dolum maliyeti 2 ₺/adet, temizleme maliyeti 0,25 ₺/adet, ayırma maliyeti 0,10 ₺/adet, satış fiyatı 15 ₺/adet, hurda fiyatı 1 ₺/adet, toplama maliyeti 1,25 ₺/adet, bir birim ürünü bir kilometre taşıma maliyeti 0,0085 ₺, bir birim talebi karşılayamamaktan dolayı katlanılan ceza maliyeti 0,8 ₺ olarak belirlenmiştir. Fabrikanın, dağıtım merkezlerinin, toptancıların, toplama merkezlerinin ve ayırma merkezinin bir birim ürünü bir gün stokta tutmak için katlandıkları maliyetler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının stok tutma maliyetleri

	Stok tutma maliyeti (₺/ adet)
Fabrika (hammadde)	0,4
Fabrika (bitmiş ürün)	0,4
Dağıtım Merkezi 1	1,25
Dağıtım Merkezi 2	1,65
Toptancı 1	1
Toptancı 2	1,15
Toplama Merkezi 1	1
Toplama Merkezi 2	0,8
Ayırma Merkezi	0,4

Tedarikçinin 30 günlük periyot için sabit kapasitesi 15000 adet olarak belirlenmiştir. Fabrikanın, dağıtım merkezlerinin, toptancıların, toplama merkezlerinin ve ayırma merkezinin minimum stok seviyeleri ve stok miktarlarının bu seviyenin altına düştüğünde vermeleri gereken sipariş miktarları Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3 Kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının (s,Q) stok politikası

	Minimum stok (adet)	Sipariş miktarı (adet)
Fabrika (hammadde)	800	800
Fabrika (bitmiş ürün)	780	800
Dağıtım Merkezi 1	700	780
Dağıtım Merkezi 2	660	680
Toptancı 1	660	660
Toptancı 2	440	440
Toplama Merkezi 1	950	1100
Toplama Merkezi 2	900	1000
Ayırma Merkezi	800	900

Ürünlerin müşterilerden geri dönme oranı %85, ayırma merkezine gelen ürünlerin sırasıyla fabrikaya, hurdaya, atık sahasına gitme oranları %90, %8, %2 olarak belirlenmiştir. Ürün kullanım ömrü $TRIA(3,5,7)$ gün dağılımına göre belirlenmiştir.

Kapalı döngü tedarik zinciri elemanları arasındaki uzaklıklar Tablo 3.4, Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.4 Fabrikaya uzaklıklar (kilometre)

	Tedarikçi	Dağıtım Merkezi 1	Dağıtım Merkezi 2	Ayırma Merkezi
Fabrika	75	30	40	35

Tablo 3.5 Toptancıya uzaklıklar (kilometre)

	Dağıtım Merkezi 1	Dağıtım Merkezi 2
Toptancı 1	20	35
Toptancı 2	45	30

Tablo 3.6 Müşterilere uzaklıklar (kilometre)

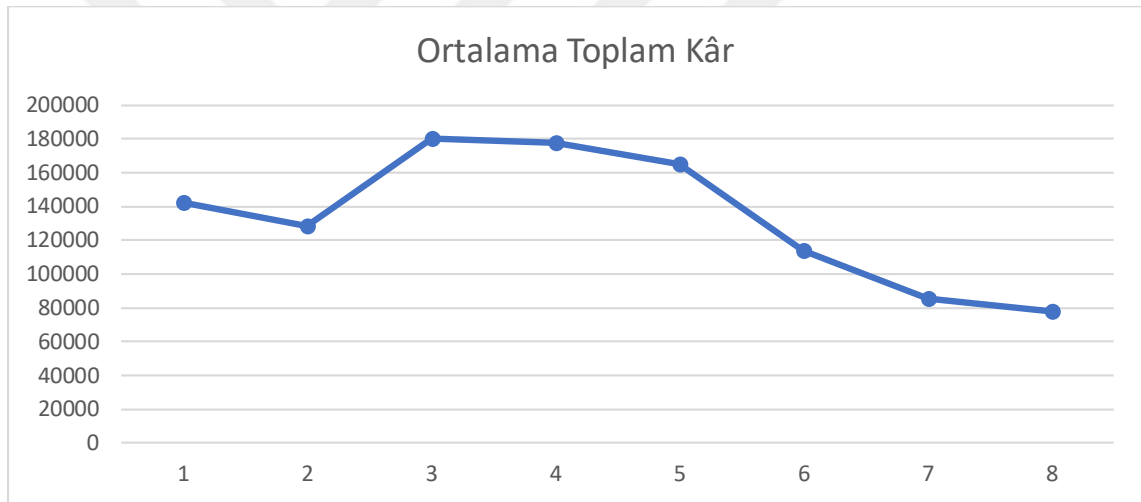
	Toptancı 1	Toptancı 2	Toplama Merkezi 1	Toplama Merkezi 2
Müşteri 1	12	14	8	14
Müşteri 2	18	26	6	12
Müşteri 3	22	10	14	10
Müşteri 4	26	16	16	6
Müşteri 5	16	28	10	18

Tablo 3.7 Ayırma merkezine uzaklıklar (kilometre)

	Toplama Merkezi 1	Toplama Merkezi 2
Ayırma merkezi	35	25

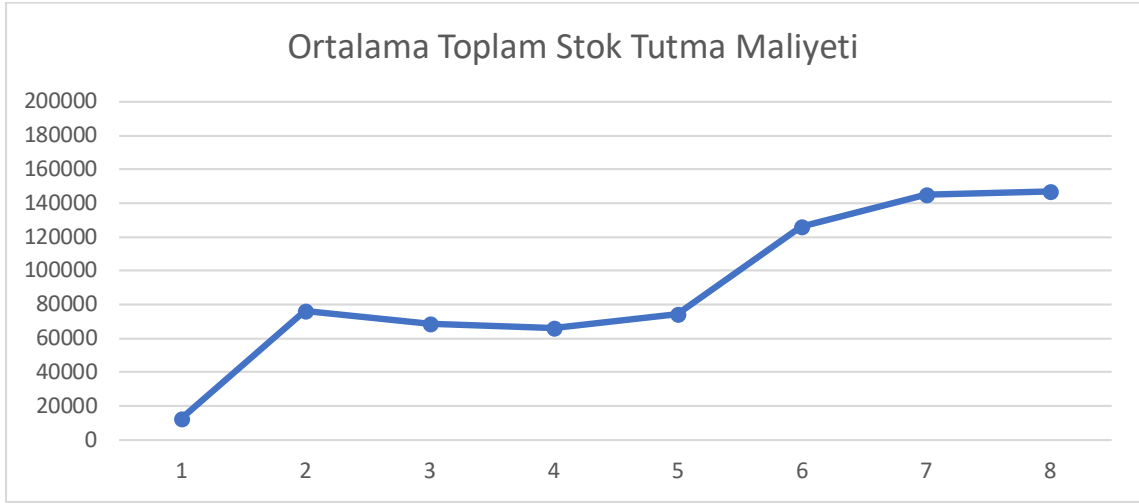
Modeller, günlük çalışma süresi 12 saat olmak üzere 10 günlük ısınma süresi ile birlikte 40 gün, 30 tekrar çalıştırılmıştır.

Şekil 3.16’da verilen ortalama toplam kâr grafiği, satış ve hurdadan elde edilen kazançtan hammadde satın alma maliyeti, üretim maliyeti, taşıma maliyeti, stok tutma maliyeti ve ceza maliyetlerinin çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Toplam kâr grafiği incelendiğinde 3. model en iyi sonucu vermiştir. Toplam kâr odaklı düşünüldüğünde itme-çekme sınırının tedarikçi ile ayırma merkezinde olduğu durum en iyi sonucu vermiştir.



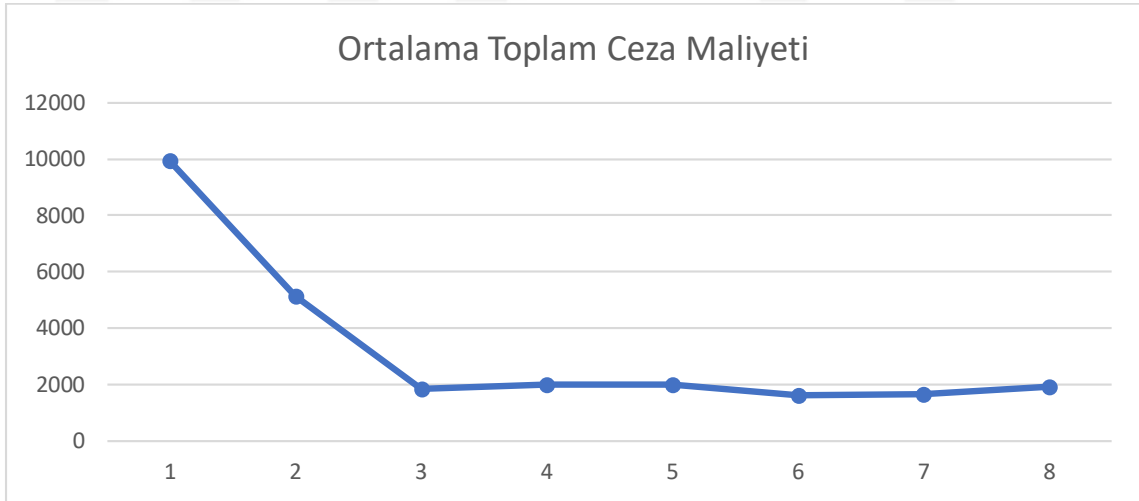
Şekil 3.16 Ortalama toplam kâr grafiği

8 modele ait ortalama toplam stok tutma maliyetleri Şekil 3.17’de verilmiştir. Stok tutma maliyetleri göz önüne alındığında saf çekme stratejisinin uygulandığı 1. model en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 3.17 Ortalama toplam stok tutma maliyeti grafiği

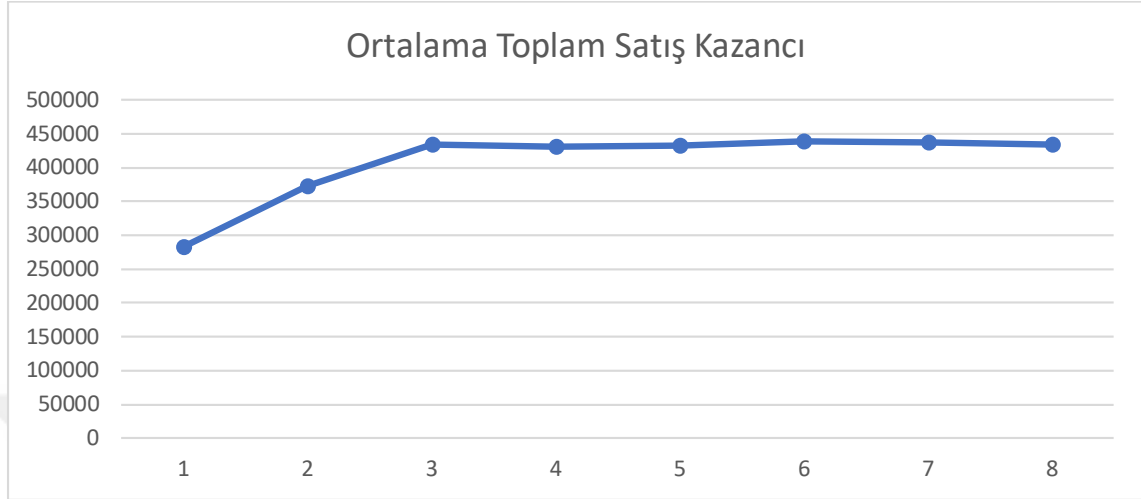
Modelde karşılanamayan talepler için bir ceza maliyetine katlanılmaktadır. Şekil 3.18’de katlanılan ortalama toplam ceza maliyetlerine ait bir grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde ceza maliyetinin en düşük olduğu yani taleplerin yüksek oranda karşılanmış olduğu model 6. modeldir. Ceza maliyetleri göz önüne alındığında itme-çekme sınırının dağıtım merkezinde olduğu durum en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 3.18 Ortalama toplam ceza maliyeti grafiği

Şekil 3.19’da ortalama toplam satış grafiği verilmiştir. Toplam satış kazancı değeri, ürün ve hurda satışlarından toplanmasıyla elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek satış kazancının olduğu modelin diğer bir ifadeyle müşteri taleplerine en iyi yanıt veren modelin 6. model olduğu görülmektedir. Önceliğin taleplerin karşılanması olması

durumunda itme-çekme sınırının dağıtım merkezinde olduğu durum en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 3.19 Ortalama toplam satış kazancı grafiği

Tablo 3.8’de 8 modele ait maliyet ve kâr bileşenlerinin ortalama değerleri verilmiştir. Saf çekme stratejisine göre çalışan 1. modelde stoksuz çalışma politikası gözetildiği için talepleri karşılayamama durumuyla daha çok karşı karşıya kalınmaktadır. Dolayısıyla 1. modelde ceza maliyetinin diğer modellere kıyasla yüksek değer aldığı görülmektedir. Diğer maliyet bileşen değerlerinin ise itme-çekme sınırı müşteriye yaklaştıkça yüksek değerler aldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durumun belli miktarlarda stok bulundurulması gerekliliğinden kaynaklandığı söylenebilir. Satış kazancının da itme-çekme sınırı müşteriye yaklaştıkça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Elde stok bulundurulmasından kaynaklı müşteri isteklerine hızlı yanıt verilmekte ve karşılanamayan talep oranı düşük olmaktadır. Dolayısıyla yüksek satış kazancı elde edilmektedir.

Tablo 3.8 8 modele ait maliyet ve kâr bileşenlerinin ortalama değerlerinin gösterimi

Performans Ölçütü (Ortalama)	1	2	3	4	5	6	7	8
Toplam Taşıma Maliyeti	23168,1	29484,3	34223,9	33942,0	34134,0	35270,2	39079,1	38858,85
Toplam Üretim Maliyeti	42203,4	54918,8	64384	64770,2	65160	66240	66420	67104,83
Toplam Hammadde Satın Alma Maliyeti	52761,2	78080,7	85505,4	87291,2	91938	96262	100361,1	101413,1
Toplam Stok Tutma Maliyeti	12530,6	75946,4	68470,4	65938,6	74593,9	125870,1	145043,5	146714,4
Ceza Maliyeti	9937,9	5153,9	1860,9	1994,3	1981,7	1601	1663,1	1913,8
Toplam Satış Kazancı	282820,5	372019,5	434736,5	431801,5	432993,5	438985,5	437930	434196
Toplam Maliyet	140601,2	243584,1	254444,6	253936,3	267807,4	325243,3	352566,8	356004,9
Toplam Kar	142219,3	128435,4	180291,9	177865,2	165186,1	113742,2	85363,2	78191,08

*Kalın olarak işaretlenen değerler satırdaki maksimum değerleri, italik olarak belirtilen değerler ise satırdaki minimum değerleri vermektedir.

Tablo 3.9’da müşteri taleplerinin ortalama karşılanma süreleri verilmiştir. İtme-çekme sınırı müşteriye yaklaştıkça taleplere olan yanıt süresinin kısaldığı görülmektedir. Önceliğin müşteri taleplerine kısa sürede yanıt verme olması durumunda itme-çekme sınırının toptancıda olduğu 7. model en iyi sonucu vermektedir.

Tablo 3.9 Müşteri taleplerinin ortalama karşılanma süreleri

		Model							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Müşteri	1	374,49	327,82	280,36	452,48	258,57	113,13	73,83	76,54
	2	379,09	344,20	308,74	498,39	313,54	161,80	87,13	88,11
	3	360,34	278,15	211,22	292,52	309,17	112,70	52,32	75,38
	4	375,41	294,85	227,96	328,39	337,25	146,83	56,20	91,62
	5	384,88	335,08	293,99	470,90	284,00	138,07	75,64	85,87

3.3.1. Taguchi Yöntemi ile Deney Tasarımı

Taguchi yöntemi, ortogonal dizinleri sayesinde daha az deney yaparak en iyi performansı veren faktörlerin ve seviyelerinin bulunmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmada 1. model için 3 faktörlü 2 seviyeli $L8(2^3)$ ortogonal dizini, geriye kalan 7 model için ise Tablo 3.10’da verilen 4 faktörlü 2 seviyeli $L8(2^4)$ ortogonal dizini kullanılmıştır. 2 seviyeli 4 faktörün etkilerini analiz edebilmek için $2^4=16$ tane deney yapılması

gerekmektedir. Taguchi yönteminde kullanılan ortogonal dizinler sayesinde 8 deney yapılarak analiz gerçekleştirilebilmektedir.

Tablo 3.10 L8(2⁴) ortogonal dizini

Deney No	Faktörler			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	2	1	2
4	1	2	2	1
5	2	1	1	2
6	2	1	2	1
7	2	2	1	1
8	2	2	2	2

Sonuçlar üzerinde etkisi olacağı düşünülen faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- Talep miktarlarındaki değişkenlik,
- Araç sayısı,
- (s,Q) seviyesi,
- Hammadde tedarik politikası.

1. model oluşturulurken (s,Q) seviyesi tüm kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının çekme politikasına göre çalışmasından dolayı kullanılmamıştır.

Deney tasarımı sonucunda incelenecek olan performans ölçütü ise toplam kâr değeridir. Toplam kâr değeri; satış ve hurda kazancından hammadde satın alma, yıkama, dolum, geri toplama, ayırma, ceza, taşıma ve stok tutma maliyetlerinin çıkartılmasıyla elde edilmiştir.

Performansı etkileyeceği düşünülen faktörler ve seviyeleri Tablo 3.11’de verilmiştir. Talep miktarlarının seviyeleri arasındaki fark yaklaşık %20 olarak belirlenmiştir. Araç sayısı, kapalı döngü tedarik zinciri elemanlarının her biri için 1 ve 2 adet olarak belirlenmiştir. (s,Q) stok politikası değerleri ise her bir kapalı döngü tedarik zinciri elemanı için farklıdır.

Tablo 3.11 Performansı etkileyeceği düşünülen faktörler ve seviyeleri

Faktörler	1. Seviye	2. Seviye
A Talep Miktarındaki Değişkenlik	UNIF(184,233) adet	UNIF(220,260) adet
B Araç Sayısı	1 adet	2 adet
C (s,Q) Seviyesi	*	**
D Hammadde Tedarik Politikası	Ayırma merkezi	Tedarikçi

Tablo 3.12’de (s,Q) stok politikası 1. ve 2. seviyeleri verilmiştir. 1. seviye ve 2. seviye arasındaki fark ise yaklaşık %10 olarak belirlenmiştir. Hammaddelerin öncelikli olarak tedarikçiden ya da ayırma merkezinden alınması durumu 2 seviye olarak tanımlanmıştır.

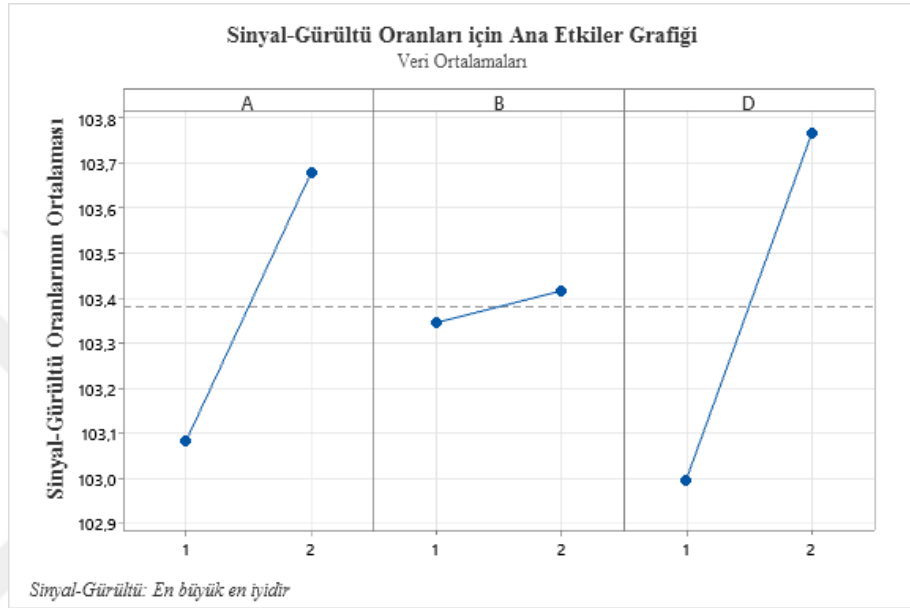
Tablo 3.12 (s,Q) stok politikası 1. ve 2. seviyeleri

	1. Seviye(*)		2. Seviye(**)	
	Minimum Stok (adet)	Sipariş Miktarı (adet)	Minimum Stok (adet)	Sipariş Miktarı (adet)
Fabrika (hammadde)	800	800	880	880
Fabrika (bitmiş ürün)	780	800	860	880
Dağıtım Merkezi 1	700	780	770	860
Dağıtım Merkezi 2	660	680	725	750
Toptancı 1	660	660	725	725
Toptancı 2	440	440	480	480
Toplama Merkezi 1	950	1100	1040	1200
Toplama Merkezi 2	900	1000	1000	1100
Ayırma Merkezi	800	900	880	990

- 1. Model için Yapılan Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Şekil 3.20’de verilen grafikten D faktörünün 2. seviyede (hammaddeleri öncelikli olarak tedarikçiden almak), A faktörünün 2. seviyede (talep miktarının UNIF(220,260) olduğu durum) ve B faktörünün 2. seviyede (kapalı döngü tedarik zincirindeki tüm elemanların araç sayısının 2 olduğu durum) olduğu durumların toplam kâr üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla 1. model için en etkin sonucu veren deneyin 8. deney olduğu gözlemlenmiştir.

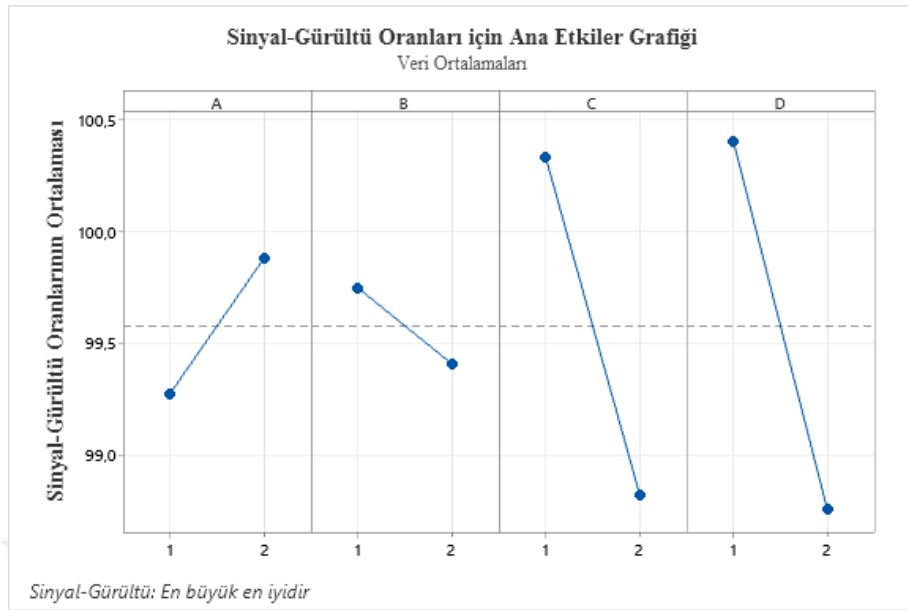
Faktörlerin anlamlılık düzeyini test etmek için %95 güven düzeyinde varyans analizi yapılmıştır. A faktörü için p değerinin 0.145, B faktörü için p değerinin 0.842, D faktörü için p değerinin 0.081 olduğu varyans analizi sonucunda gözlemlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 1. model için A, B ve D faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.



Şekil 3.20 1. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği

- 2. Model için Yapılan Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Şekil 3.21’de verilen grafikten D faktörünün 1. seviyede, C faktörünün 1. seviyede, A faktörünün 2. seviyede ve B faktörünün 1. seviyede olduğu durumların toplam kâr üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sinyal-gürültü değerleri incelendiğinde 2. model için en etkin sonucu veren deneyin 1. deney olduğu gözlemlenmiştir.



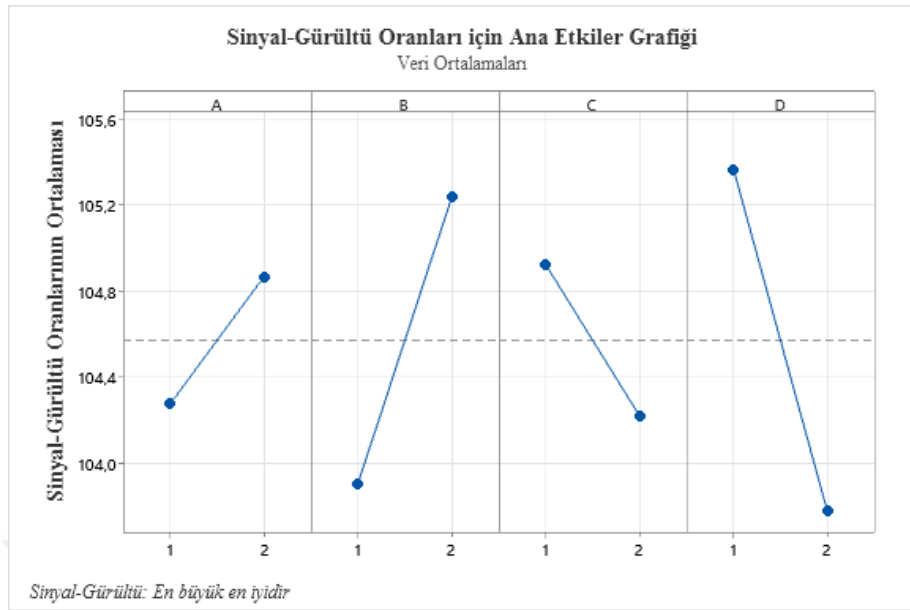
Şekil 3.21 2. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği

Faktörlerin anlamlılık düzeyini test etmek için %95 güven düzeyinde varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi sonucunda A faktörü için p değerinin 0.623, B faktörü için p değerinin 0.780, C faktörü için p değerinin 0.267, D faktörü için p değerinin 0.234 olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan 2. model için A, B, C ve D faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

- 3. Model için Yapılan Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Şekil 3.22’de verilen grafikten D faktörünün 1. seviyede, B faktörünün 2. Seviyede, C faktörünün 1. seviyede ve A faktörünün 2. seviyede olduğu durumların toplam kâr üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla 3. model için en etkin sonucu veren deneyin 7. deney olduğu gözlemlenmiştir.

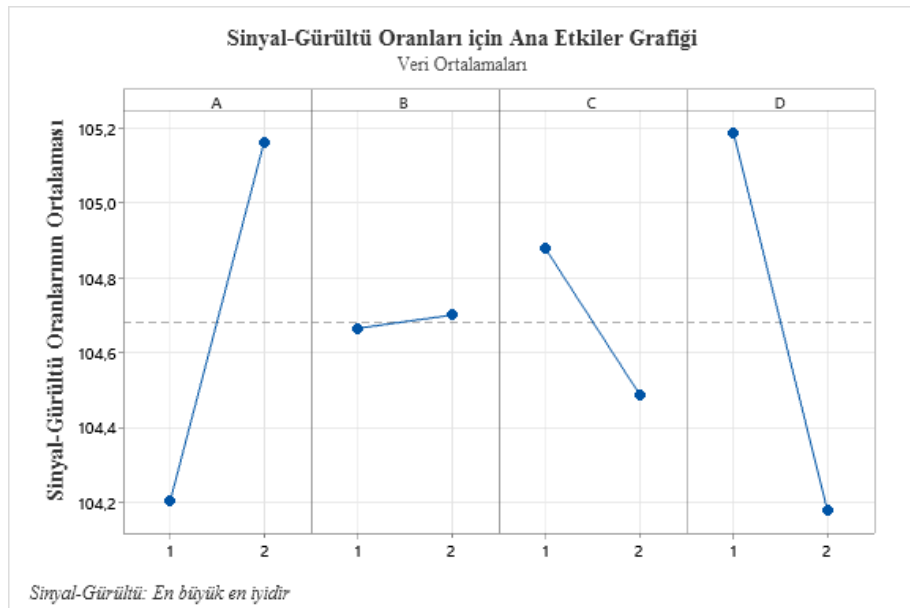
Faktörlerin anlamlılık düzeyini test etmek için %95 güven düzeyinde varyans analizi yapılmıştır. A faktörü için p değerinin 0.168, B faktörü için p değerinin 0.027, C faktörü için p değerinin 0.120, D faktörü için p değerinin 0.017 olduğu varyans analizi sonucunda gözlemlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 3. model için D ve B faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu, A ve C faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.



Şekil 3.22 3. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği

- 4. Model için Yapılan Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Şekil 3.23'te verilen grafikten D faktörünün 1. seviyede, A faktörünün 2. seviyede, C faktörünün 1. Seviyede ve B faktörünün 2. seviyede olduğu durumların toplam kâr üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla 4. model için en etkin sonucu veren deneyin 7. deney olduğu gözlemlenmiştir.

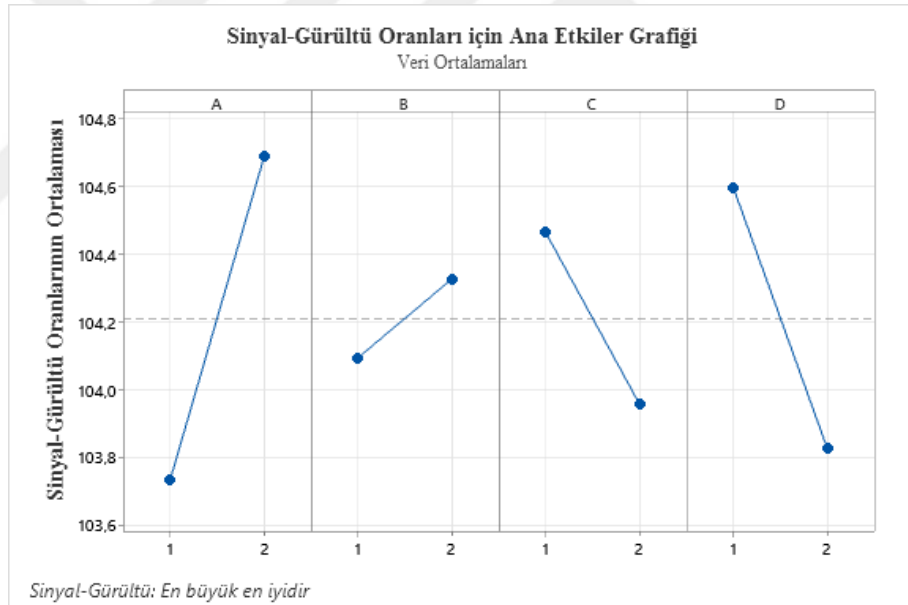


Şekil 3.23 4. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği

Faktörlerin anlamlılık düzeyini test etmek için %95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi sonucunda A faktörü için p değerinin 0.002, B faktörü için p değerinin 0.717, C faktörü için p değerinin 0.022, D faktörü için p değerinin 0.001 olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 4. model için D, A ve C faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu, B faktörünün toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

- 5. Model için Yapılan Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Şekil 3.24'te verilen grafikten A faktörünün 2. seviyede, D faktörünün 1. seviyede, C faktörünün 1. seviyede ve B faktörünün 2. seviyede olduğu durumların toplam kâr üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla 5. model için en etkin sonucu 7. deney vermiştir.

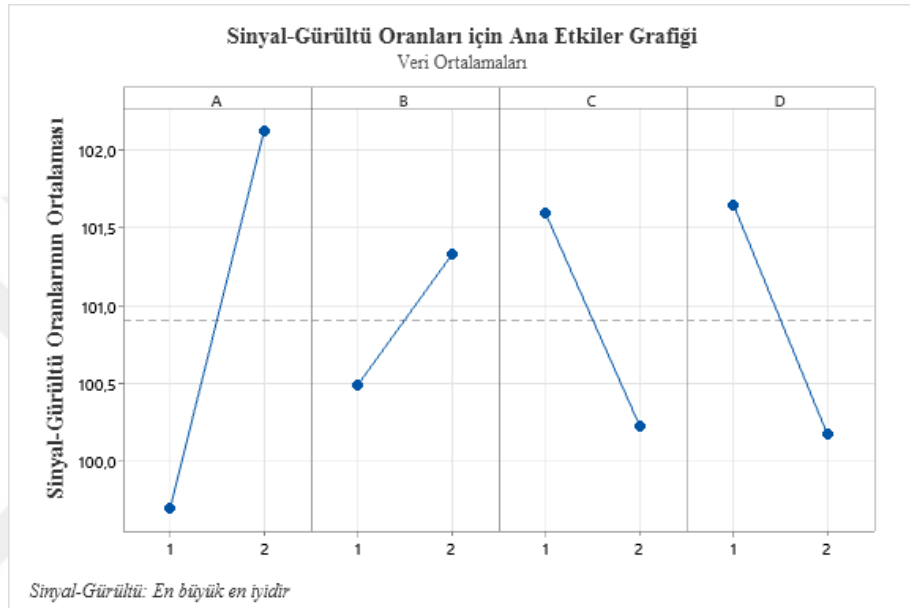


Şekil 3.24 5. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği

Faktörlerin anlamlılık düzeyini test etmek için %95 güven düzeyinde varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonucunda A faktörü için p değerinin 0.021, B faktörü için p değerinin 0.358, C faktörü için p değerinin 0.099, D faktörü için p değerinin 0.037 olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 5. model için A ve D faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu, B ve C faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

- 6. Model için Yapılan Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Şekil 3.25'te verilen grafikten A faktörünün 2. seviyede, D faktörünün 1. seviyede, C faktörünün 1. seviyede ve B faktörünün 2. seviyede olduğu durumların toplam kâr üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla 6. model için en etkin sonucu veren deneyin 7. deney olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.25 6. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği

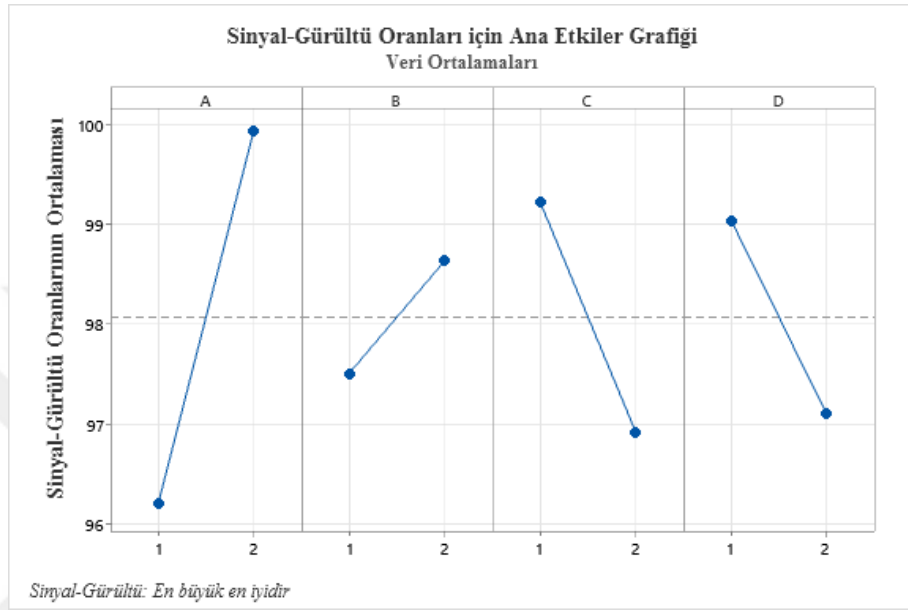
Faktörlerin anlamlılık düzeyini test etmek için %95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi sonucunda A faktörü için p değerinin 0.013, B faktörü için p değerinin 0.165, C faktörü için p değerinin 0.059, D faktörü için p değerinin 0.048 olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 6. model için A ve D faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu, B ve C faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

- 7. Model için Yapılan Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Şekil 3.26'da verilen grafikten A faktörünün 2. seviyede, C faktörünün 1. seviyede, D faktörünün 1. seviyede ve B faktörünün 2. seviyede olduğu durumların toplam kâr üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla 7. model için en etkin sonucu 7. deney vermiştir.

Faktörlerin anlamlılık düzeyini test etmek için %95 güven düzeyinde varyans analizi yapılmıştır. A faktörü için p değerinin 0.002, B faktörü için p değerinin 0.081, C faktörü

için p değerinin 0.010, D faktörü için p değerinin 0.024 olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 7. model için A, C ve D faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu, B faktörünün toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

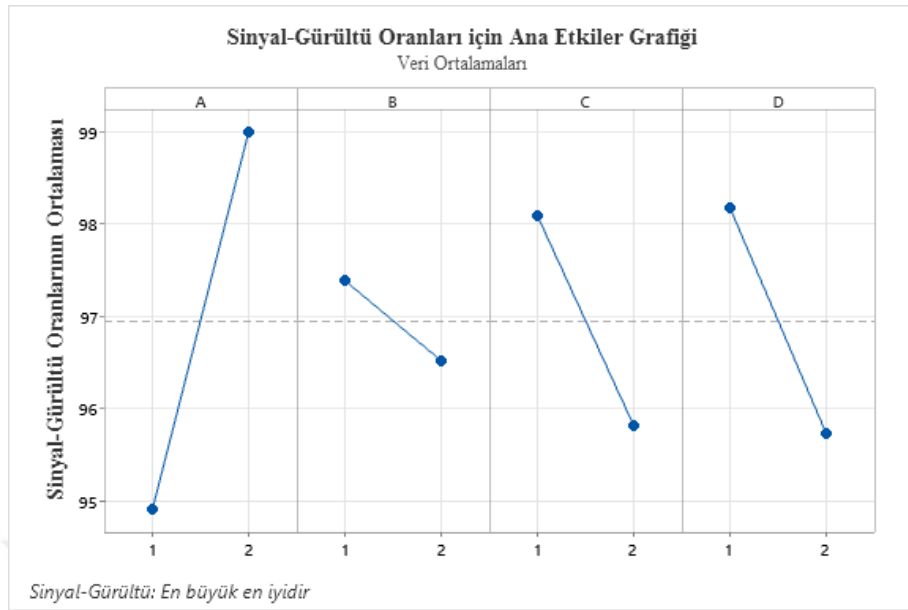


Şekil 3.26 7. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği

- 8. Model için Yapılan Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Şekil 3.27’de verilen grafikten A faktörünün 2. seviyede, D faktörünün 1. seviyede, C faktörünün 1. seviyede ve B faktörünün 1. seviyede olduğu durumların toplam kâr üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sinyal-gürültü değerleri incelendiğinde 8. model için en etkin sonucu 5. deney vermiştir.

Faktörlerin anlamlılık düzeyini test etmek için %95 güven düzeyinde varyans analizi yapılmıştır. A faktörü için p değerinin 0.012, B faktörü için p değerinin 0.327, C faktörü için p değerinin 0.055, D faktörü için p değerinin 0.046 olduğu varyans analizi sonucunda gözlemlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 8. model için A ve D faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu, B ve C faktörlerinin toplam kâr üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.



Şekil 3.27 8. modele ait sinyal-gürültü oranları için ana etkiler grafiği

Deney tasarımına ilişkin sonuçlar için genel bir değerlendirme yapılacak olursa talep miktarındaki değişkenlik faktörünün 2. seviyede olmasının toplam kâr üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir. Reklamlarla, promosyonlarla talep miktarlarını arttırmaya yönelik girişimlerde bulunulabilir. (s,Q) stok seviyesinin ise tüm modellerde 1. seviyede olmasının daha etkin olduğu görülmektedir. Toplam kârlılık gözetildiğinde düşük stok seviyeleri ile çalışmanın daha anlamlı olacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Hammadde tedarik politikasının etkin seviyesi ise saf çekme modeli hariç tüm modellerde 1. seviyedir. Dolayısıyla hammaddelerin ayırma merkezinden alınmasının daha avantajlı olduğu görülmektedir. Saf çekme çalışan bir sistemde ise hammadde tedarik politikasının etkin değeri 1. seviyedir. Hammaddeleri tedarikçiden almak yüksek maliyete sebebiyet verse de hammadde teslimi daha kısa sürede gerçekleştiği için saf çekme modelinde taleplerin karşılanamama durumunu en aza indirmektedir.

Yukarıda her modele ayrı ayrı uygulanan deneylerin sonucu incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bu bilgilerden yola çıkılarak aşağıda verilmiş olan Tablo 3.13'te her modelin en iyi sonuç verdiği deney numaraları ve bu deneyler sonucunda ulaşılan toplam kâr değerlerinin 30 tekrar sonucu elde edilen ortalamaları verilmiştir.

Tablo 3.13 En iyi sonuçlar

	En iyi sonucu veren deney	Ortalama toplam kâr
1. Model	8. Deney	163796,47
2. Model	1. Deney	128435,45
3. Model	7. Deney	225257,62
4. Model	7. Deney	194237,62
5. Model	7. Deney	182931,68
6. Model	7. Deney	146799,17
7. Model	7. Deney	118669,26
8. Model	5. Deney	103045,15

Tablo 3.13'te görüldüğü üzere kapalı döngü tedarik zincirinde itme-çekme sınırının tedarikçi ile ayırma merkezinde olduğu 3. modele yani hammaddelerin ve geri kazanılan hammaddelerin fabrikadan çekildiği duruma 7. deneyin uygulanması ile (D faktörünün 1. seviyede (hammaddeleri öncelikli olarak ayırma merkezinden almak), B faktörünün 2. seviyede (kapalı döngü tedarik zincirindeki tüm elemanların araç sayısının 2 olduğu durum), A faktörünün 2. seviyede (talep miktarının UNIF(220,260) olduğu durum) ve C faktörünün 1. seviyede olduğu durum) en iyi sonuç elde edilmiştir.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekonomik, yasal ve çevresel sebeplerden dolayı kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı ve yönetimine verilen önem her geçen gün artmıştır. Bu çalışmada, kapalı döngü tedarik zinciri ağının verimliliğini ve etkinliğini artırabilmek için itme ve çekme stratejilerinden yararlanılarak çeşitli modeller geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, talepler ve ürün kullanım süreleri dinamik bir şekilde modellere yansıtılmıştır. Bahsedilen dinamiklerin modellere doğru şekilde yansıtılabilmesi için simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen modeller; 1 tedarikçi, 1 fabrika, 2 dağıtım merkezi, 2 toptancı, 5 müşteri, 2 toplama merkezi, 1 ayırma merkezi ve 1 atık merkezi için oluşturulan örnek bir veri seti üzerinde çalıştırılmıştır. Modellerin performansları ortalama toplam kâr, stok tutma maliyeti, ceza maliyeti, satış kazancı ve müşteri taleplerinin ortalama teslim edilme süresi göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. Ortalama toplam kâr üzerinden sonuçlar karşılaştırıldığında itme-çekme sınırının tedarikçi ile ayırma merkezinde olduğu hibrit model, ortalama toplam stok tutma maliyeti üzerinden sonuçlar karşılaştırıldığında saf çekme stratejisinin uygulandığı model en iyi sonucu vermiştir. Karşılanamayan talepler için katılan ceza maliyeti ve toplam satış kazancının ortalama değerleri üzerinden sonuçlar karşılaştırıldığında itme-çekme sınırının dağıtım merkezinde olduğu hibrit model en iyi sonuçları vermiştir. Müşteri taleplerinin ortalama teslim edilme süresi göz önünde bulundurulduğunda ise itme-çekme sınırının toptancıda olduğu hibrit model en iyi sonucu vermiştir.

Ayrıca talep miktarlarının, stok politikasının, hammadde tedarik politikasının ve araç sayısının sonuçlar üzerindeki etkisini analiz edebilmek için deney tasarımı yapılmıştır. Yapılan deney tasarımı sonucunda toplam kâr gözetilerek itme-çekme sınırı için uygun

konum, faktörler için de etkin değerler belirlenmiştir. En iyi sonucu veren model ve deney incelendiğinde hammadde tedarik politikasının en etkili faktör olduğu görülmüştür. Öncelikli olarak geri dönüşen hammaddelerin tedarik edilmesi ortalama toplam kâr düzeyini oldukça arttırmıştır.

Kapalı döngü tedarik zinciri ağı Arena yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Örnek veri seti kullanılarak sonuçlar alınmıştır. Deney tasarımı ise Minitab istatistik yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Gelecek çalışmalarda, farklı stok politikalarının tercih edilmesi durumu simülasyon modellerine yansıtılarak sonuçlar kıyaslanabilir. Deney tasarımı sonuçları, toplam kâr dışındaki performans kriterleri gözetilerek tekrar analiz edilebilir. Ürün kullanım sürelerinin, ürün geri dönüş oranlarının sisteme etkisi deney tasarımı yapılarak analiz edilebilir. Oluşturulan model bir gerçek hayat problemine uygulanarak sonuçlar analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Ganeshan, R., Harrison, T. P., 1995. An Introduction to Supply Chain Management. Penn State University.
2. Chopra S., Meindl, P., 2004. Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation. Second Edition, Person and Prentice Hall, New Jersey, 529 pp.
3. Nakıboğlu, G., 2007. Tersine lojistik: önemi ve dünyadaki uygulamaları. **Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 9(2):181-196.
4. Tonanont, A., Yimsiri, S., Jitpitaklert, W., Rogers, K.J., 2008. Performance evaluation in reverse logistics with data envelopment analysis. In: *Proceedings of the 2008 Industrial Engineering Research Conference*, Vancouver, Canada, pp. 764–769.
5. Guide, V. D. R., Van Wassenhove, L. N., 2009. The evolution of closed-loop supply chain research. **Operations Research**, 57(1):10–18.
6. Thierry M.C., 1997. An Analysis of the Impact of Product Recovery Management on Manufacturing Companies., Erasmus University, Doktora Tezi, Rotterdam, 135 pp.
7. Johnson, M.E., Pyke, D.F., 2001. Supply chain management, pp. 794-806. In: *Encyclopedia of Operations Research and Management Science* (Eds. S.I. Gass, C.M. Harris). Springer US: New York, NY.
8. Harrison, T.P., Lee H.L., Neale J.J., 2014. The Practice of Supply Chain Management: Where Theory and Application Converge. Springer US., 356 pp.
9. Cochran, J. K., Kim, S. S., 1998. Optimum junction point location and inventory levels in serial hybrid push/pull production systems. **International Journal of Production Research**, 36(4):1141-1155.
10. Salomon, M., van der Laan, E., Dekker, R., 1999. An investigation of lead-time effects in manufacturing/remanufacturing systems under simple PUSH and PULL control strategies. **European Journal of Operational Research**, 115: 195-214.
11. Beamon, B. M., Bermudo, J. M., 2000. A hybrid push/pull control algorithm for multi-stage, multi-line production systems. **Production Planning & Control**, 11(4): 349-356.

12. Yan, H., Lou, S., Sethi, S., 2000. Robustness of various production control policies in semiconductor manufacturing. **Productions and Operations Management**, **9**(2):171-183.
13. Corry, P., Kozan, E., 2004. Meta-heuristics for a complex push-pull production system. **Journal of Intelligent Manufacturing**, **15**: 381-393.
14. Teeravaraprug, J., Stapholdech, S., 2004. Performance analysis of push, pull, and mixed systems. **Thammasat Int. J. Sc. Tech.**, **9**(4):29-36.
15. Chiadamrong, N., Techalert, T., Pichalai, A., 2007. Decision support tool for evaluating push and pull strategies in the flow shop with a bottleneck resource. **Industrial Engineering and Management Systems**, **6**: 83-93.
16. Ghrayeb, O., Phojanamongkolkij, N., Tan, B.A., 2009. A hybrid push/pull system in assemble-to-order manufacturing environment. **Journal of Intelligent Manufacturing**, **20**: 379-387.
17. Cheraghi, S. H., Dadashzadeh, M., Soppin, M., 2008. Comparative analysis of production control systems through simulation. **Journal of Business & Economics Research**, **6**(5).
18. Lu, J. C., Yang, T., Su, C. T., 2012. Analysing optimum push/pull junction point location using multiple criteria decision-making for multistage stochastic production system. **International Journal of Production Research**, **50**(19): 5523-5537.
19. Puchkova, A., Romancer, J. L., McFarlane, D., 2016. Balancing push and pull strategies within the production system, *7th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL*, February 22-24, 2016, Bremen, Germany, **IFAC-PapersOnLine**, **49**(2): 66-71.
20. Takahashi, K., Nakamura, N., 2004. Push, pull, or hybrid control in supply chain management. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, **17**(2):126-140.
21. Masuchun, W., Davis, S., Patterson, J.W., 2004. Comparison of push and pull control strategies for supply network management in a make-to-stock environment. **International Journal of Production Research**, **42**(20):4401-4419.
22. Ahn, G. S., Kaminsky, P., 2005. Production and distribution policy in a two-stage stochastic pushpull supply chain. **IIE Transactions**, **37**(7):609-621.

23. Kundu, S., McKay, A., de Pennington, A., 2008. Selection of decoupling points in supply chains using a knowledge-based approach. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, **222**(11):1529-1549.
24. Dev, N. K., Caprihan, R., Swami, S., 2012. Strategic positioning of push-pull boundary within a supply chain: An ordering policy co-ordination perspective. **Journal of Supply Chain and Operations Management**, **5**(1):42-53.
25. Mahapatra, S., Yu, D. Z., Mahmoodi, F., 2012. Impact of the pull and push-pull policies on the performance of a three-stage supply chain. **International Journal of Production Research**, **50**(16):4699-4717.
26. Kim, S. H., Fowler, J. W., Shunk, D. L., Pfund, M. E., 2012. Improving the push-pull strategy in a serial supply chain by a hybrid push-pull control with multiple pulling points. **International Journal of Production Research**, **50**(19):5651-5668.
27. Huang, Y. H., Huang, Z., 2014. On building a push-pull supply chain of iron and steel scrap. **Advanced Materials Research**, **864-867**: 1959-1962.
28. Guojia, L., Dingwei, W., 2014. Design and simulation on RFID-enabled hybrid pull/push control strategy for multi-echelon inventory of supply chain. *The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, 31 May-2 June, 2014 Changsha, China.
29. Chen, M. C., Hsiao, Y. H., Huang, H. Y., 2016. Semiconductor supply chain planning with decisions of decoupling point and VMI scenario. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, **47**(5):856-868.
30. Iacocca, K., Liberatore, W., 2018. An empirical study of service postponement: locating the push-pull boundary. **International Journal of Production Research**, **56**(12):4100-4114.
31. Lin, J., Naim, M. M., Spiegler, V. L. M., 2020. Delivery time dynamics in an assemble-to-order inventory and order based production control system. **International Journal of Production Economics**, **223**:107531.
32. Pournamazi, S.R., Yaghin, R.G., Jolai, F., 2021. Positioning push-pull boundary in a hesitant fuzzy environment. **Expert Systems**, **38**(2).

33. Abbey, J. D., Guide Jr, V. D. R., Souza, G. C., 2013. Delayed differentiation for multiple lifecycle products. **Production and Operations Management**, 22(3): 588-602.
34. Lin, J., Zhou, L., Spiegler, V. L. M., Naim, M. M., Syntetos, A., 2022. Push or Pull? The impact of ordering policy choice on the dynamics of a hybrid closed-loop supply chain. **European Journal of Operational Research**, 300(1):282-295.
35. Yeroğlu, C., 2001. Üretim ve Servis Sistemlerinde Pratik Simülasyon Teknikleri. Nobel Kitapevi, İstanbul, 210 s.
36. Saidabad, A., Taghizadeh, H., 2015. Performance and improvement of production line function using computer simulation (case study: an iron foundry). **American Journal of Computational Mathematics**, 5(4):431-446.
37. Banks, J., 1998. Handbook of Simulation. John Wiley, U.S.A, 862 pp.
38. Shannon, R. E., 1998. Introduction to the art and science of simulation, pp. 7-14. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, December 13-16, 1998, Washington, DC.
39. Özçetin, K. N., 2019. Bir Mobilya Firmasında Paketleme Öncesi Üretim Hattının Simülasyon İle Verimliliğini Arttırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 106 s.
40. Küçükönder, M., Uçar, M., 2015. Üretim etkinliğinde simülasyon. **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 5(1):117-126.
41. Kezer, D., 2003. Kesikli ve Sürekli Sistemlerin Modellenmesi ve Analizinde Görsel Simülasyon Tekniği ve Uygulanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 164 s.
42. Alataylı, B., 1994. Simülasyon Kullanımıyla Sistem İyileştirme, Hava Basımevi, Ankara.
43. El-Haik, B. and Al-Aomar, R., 2006. Simulation-Based Lean Six-Sigma and Design for Six-Sigma. John Wiley & Sons, New Jersey.
44. Kılıç, Raziye 2019. Güneş Paneli Üretiminde Sistem İyileştirmesi İçin Bir Simülasyon Yaklaşımı. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Yüksek Lisans Tezi, 112 s.
45. Montgomery, D. C., 2017. Design and Analysis of Experiment. John Wiley & Sons, Newyork, 735 pp.

46. Lunani, M., Nair, V.N., Wasserman, G.S., 1997. Graphical methods for robust design with dynamic characteristics, **Journal of Quality Technology**, **29**(3): 327-338.
47. Demir, L., 2004. İstatistiksel Deney Tasarımı Yöntemi Ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 91 s.
48. Zhang J. Z., Chen J. C., Kirby E. D., 2007. Surface roughness optimization in an end-milling operation using the taguchi design method, **Journal of Materials Processing Technology**, **184**(1): 233-239.
49. Kumsal, K. H., 1994. Taguchi Metodu. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 143 s.
50. Krishnaiah, K., Shahabudeen, P., 2012. Applied Design Of Experiments And Taguchi Methods. PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi, 368 pp.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: İpek Nur YİYİT
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2022
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2019
Lise	Abdurrahman Paşa Anadolu Lisesi, Kastamonu	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-Halen	Atatürk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce

Tez Çalışması Süresince Gerçekleştirilen Akademik Çalışmalar

1. Yiyit, İ.N., Aykut, L.G., 2022. Comparison of push and pull strategies in a closed loop supply chain. *III. International Science and Innovation Congress (INSI 2022)*, Türkiye, 09-12 June.