

**SÜREÇ İÇİ ENVANTERİN AZALTILMASI İÇİN ÜRETİM
KONTROL SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI:
HAVACILIK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA
ÇALIŞMASI**

**COMPARISON OF PRODUCTION CONTROL SYSTEMS
TO REDUCE WORK-IN PROCESS INVENTORY: AN
APPLICATION IN AVIATION INDUSTRY**

AYBAHA KARAKAŞ

DR. ÖĞR. ÜYESİ BANU YÜKSEL ÖZKAYA

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2024

ÖZET

SÜREÇ İÇİ ENVANTERİN AZALTILMASI İÇİN ÜRETİM KONTROL SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI: HAVACILIK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA ÇALIŞMASI

AYBAHA KARAKAŞ

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: DR. ÖĞR. ÜYESİ BANU YÜKSEL ÖZKAYA

Ocak 2024, 74 sayfa

Bu tez kapsamında, üretim planlama faaliyetlerini gerçekleştirirken sahip olunan kısıtlı kaynakların en iyi şekilde kullanılması, planlama sonucunda elde edilecek üretim parametrelerinin izlenmesi ve üretim miktarından oluşabilecek sapmaların etkisinin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada son yıllarda literatürde sıklıkla incelenen hibrit üretim sistemlerinin gerçek üretim senaryolarındaki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretim sistemlerinin kısıtları incelenerek planlama dönemi boyunca üretim miktarının en büyüklmesi için matematiksel model oluşturulmuştur. Matematiksel model ile toplam ara stok miktarı, istasyonların maksimum ve minimum üretim miktarları, istasyonların maksimum ve minimum ara stok miktarları, aylık stoklar, komponentlerin üretim oranları incelenmiştir. Ayrıca sevkiyat hedeflerine eşit ve sevkiyat hedeflerine eşit ya da daha fazla üretim yapılmasını sağlayan kısıtlar eklenerek elde edilen çıktılar ele alınan gerçek sistemin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Üç farklı senaryonun itme, çekme ve hibrit sistemler ile verdiği çıktılar değerlendirilmektedir.

Üretim planlarının tam uyumu her zaman mümkün olmadığından üretim miktarından gerçekleşecek sapmaların müşteri hedeflerine uyumdaki etkisinin de incelenmesi amacıyla bir simülasyon modeli tasarlanmıştır. Simülasyon modeli tasarlanırken üretim miktarının sapması için kullanılan farklı değişiklik katsayıları ile müşteri hedeflerinin karşılanma oranları hesaplanmıştır. Belirli senaryolar için hibrit üretim sistemlerinin alternatif olarak kullanılabilmesi değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ara Stok, Matematiksel Model, Simülasyon, Üretim Kontrol Sistemi.

ABSTRACT

COMPARISON OF PRODUCTION CONTROL SYSTEMS TO REDUCE WORK-IN PROCESS INVENTORY: AN APPLICATION IN AVIATION INDUSTRY

AYBAHA KARAKAS

Master`s Degree, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Assist. Prof. BANU YUKSEL OZKAYA

January 2024, 74 pages

Within the scope of this thesis, the objective is to use the scarce of resources in production planning activities in the most efficient way, to monitor the production parameters obtained as a result of production planning and to analyze the effects of the deviations from the production amount. The study aims to examine the effect of hybrid production systems, which have been frequently studied in the literature in recent years, in real life production scenarios. By examining the constraints of the production systems, a mathematical model was constructed to maximize the production amount during the planning period. With the mathematical model, the outputs were analyzed for total work-in process inventory, the maximum and minimum production amounts of the stations, the maximum and minimum work-in-process amounts of the stations, monthly stocks, the ratio of the components produced, and the constraints that ensure production to be at least the shipment targets were also examined. To evaluate the performance of the underlying real system the outputs of three different scenarios were evaluated together through push, pull and hybrid production systems. Since full compliance with production plans is not always possible, a simulation model was designed to examine the effects of deviations from production quantities on compliance with customer targets.

While designing the simulation model, the production amounts to meet customer targets were generated using different production deviation parameters. It has been evaluated that hybrid production systems can be used as an alternative for certain scenarios.

Keywords: Work-in-Process Inventory, Mathematical Model, Simulation, Production Control System.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Çekme Üretim Sistemleri.....	3
2.2. İtme Üretim Sistemleri.....	4
2.3. CONWIP Üretim Sistemleri	5
2.4. Senkronize Üretim Sistemleri	7
2.5. Tezin Literatüre Katkısı	10
3. PROBLEM TANIMI VE MODEL.....	12
3.1. Problem Karakteristikleri ve Model Varsayımları.....	12
3.2. Model Kurgusu	15
3.2.1. Karar Değişkenleri ve Parametreler.....	15
3.2.2. Kısıtlar	16
3.2.3. Amaç Fonksiyonu	18
3.2.4. Model Büyüklüğü	18
3.3. Simülasyon Modeli Kurgusu ve Performansı	19
4. SAYISAL ANALİZ.....	22
4.1. Senaryo 1 Analizi.....	25
4.1.1. Matematiksel Model Analizi	25
4.1.1.1 Senaryo 1 Hibrit Sistem Analizi	33
4.1.1.2 Senaryo 1 Simülasyon Modeli Analizi	34
4.1.1.3 Senaryo 1 Değişiklik Katsayısı Sevkiyatı Karşılama Analizi	36
4.1.2 Senaryo 2 Analizi.....	37

4.2.1. Senaryo 2 Matematiksel Model Analizi	37
4.2.1.1 Senaryo 2 için Hibrit Sistem Analizi	47
4.2.2. Senaryo 2 Simülasyon Analizi.....	49
4.2.3 Senaryo 2 için Değişiklik Katsayısı Sevkiyatı Karşılama Analizi	50
4.3. Senaryo 3 Analizi.....	52
4.3.1. Senaryo 3 Matematiksel Model Analizi	52
4.3.1.1 Senaryo 3 Hibrit Sistem Analizi	64
4.3.2 Senaryo 3 Simülasyon Analizi.....	65
4.3.3 Senaryo 3 Değişiklik Katsayısı Sevkiyatı Karşılama Analizi	66
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	68
6. KAYNAKLAR	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Üretim Akışı Genel Gösterim.....	16
Şekil 3.2 Stok Denge Kısıtı.....	17
Şekil 4.1 Senaryo 1 Hat Akışı.....	23
Şekil 4.2 Senaryo 2 Hat Akışı.....	24
Şekil 4.3 Senaryo 3 Hat Akışı.....	24
Şekil 4.4 Senaryo 1 İçin Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri	26
Şekil 4.5 Senaryo 1 İçin Toplam Ara Stok Miktarları	27
Şekil 4.6 Senaryo 1 Durum 1 İçin Toplam Ara Stok Miktarları.....	30
Şekil 4.7 Senaryo 1 Durum 2 İçin Toplam Ara Stok Miktarları.....	32
Şekil 4.8 Senaryo 1 Simülasyonu Toplam Ara Stok Miktarları	35
Şekil 4.9 Senaryo 1 İçin d Katsayısına Göre Hedefi Karşılama Oranı.....	36
Şekil 4.10 Senaryo 1 İçin d Katsayısına Göre Yılın Başındaki Stoklar ile Hedefi Karşılama Oranı.....	37
Şekil 4.11 Senaryo 2 İçin Sol Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri	38
Şekil 4.12 Senaryo 2 İçin Sağ Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri	39
Şekil 4.13 Senaryo 2 İçin Alt Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri	40
Şekil 4.14 Senaryo 2 İçin Toplam Ara Stok Miktarları.....	42
Şekil 4.15 Senaryo 2 için Planlama Döneminde Üretilen Toplam Panel Yüzdeleri	43
Şekil 4.16 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 3$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları	45
Şekil 4.17 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 1$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları	46
Şekil 4.18 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 0$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları	46
Şekil 4.19 Senaryo 2 Simülasyonu Toplam Ara Stok Miktarları	50
Şekil 4.20 Senaryo 2 İçin d Katsayısına Göre Hedefi Karşılama Oranı.....	51
Şekil 4.21 Senaryo 2 İçin d Katsayısına Göre Komponentlerin Yılın Başındaki Stoklar ile Hedefi Karşılama Oranı	51
Şekil 4.22 Senaryo 3 İçin Sol Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri	53
Şekil 4.23 Senaryo 3 İçin Sağ Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri	54
Şekil 4.24 Senaryo 3 İçin Alt Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri	55
Şekil 4.25 Senaryo 3 İçin Toplam Ara Stok Miktarları	58
Şekil 4.26 Senaryo 3 İçin Planlama Döneminde Üretilen Toplam Panel Yüzdeleri	59
Şekil 4.27 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 3$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları	61

Şekil 4.28 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 1$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları	62
Şekil 4.29 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 0$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları	62
Şekil 4.30 Senaryo 3 Simülasyonu Toplam Ara Stok Miktarları	66
Şekil 4.31 Senaryo 3 İçin d Katsayısına Göre Hedefi Karşılama Oranı.....	67
Şekil 4.32 Senaryo 3 İçin d Katsayısına Göre Komponentlerin Yılın Başındaki Stoklar ile Hedefi Karşılama Oranı	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 4.1 Kullanılan Parametre Değerleri.....	23
Tablo 4.2 Senaryo 1 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri.....	27
Tablo 4.3 Senaryo 1 İçin Hedef Sayılar ve Stok Miktarları	28
Tablo 4.4 Senaryo 1 İçin Hedef Sayılar ve Stok Miktarları	28
Tablo 4.5 Senaryo 1 Durum 1 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri	29
Tablo 4.6 Senaryo 1 Durum 1 İçin Hedef Sayılar ve Stok Miktarları	30
Tablo 4.7 Senaryo 1 Durum 1 İçin Aylık Çıktı Farkı.....	31
Tablo 4.8 Senaryo 1 Durum 2 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri	31
Tablo 4.9 Senaryo 1 Durum 2 İçin Temel Modele Göre Üretim Değerleri Farkı	32
Tablo 4.10 Senaryo 1 Hibrit Sistem Kapasite ve Çıktıları	34
Tablo 4.11 Senaryo 1 Simülasyonu Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri (d = 0,006).....	35
Tablo 4.12 Senaryo 2 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri.....	41
Tablo 4.13 Senaryo 2 İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri	42
Tablo 4.14 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 3$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri	44
Tablo 4.15 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 1$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri	44
Tablo 4.16 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 0$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri	45
Tablo 4.17 Senaryo 2 Durum 2 İçin Farklı Parametreler ve Çıktıları	47
Tablo 4.18 Senaryo 2 İçin Hibrit Sistem Kapasite ve Çıktıları	48
Tablo 4.19 Senaryo 2 Simülasyonu Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri (d = 0,01).....	49
Tablo 4.20 Senaryo 3 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri.....	56
Tablo 4.21 Senaryo 3 İçin Maksimum Ara Stok ve Başlangıç Ara Stok İlişkisi	57
Tablo 4.22 Senaryo 3 İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri	58

Tablo 4.23 Senaryo 3 Durum 1 $\epsilon_j = 3$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri	60
Tablo 4.24 Senaryo 3 Durum 1 $\epsilon_j = 1$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri	60
Tablo 4.25 Senaryo 3 Durum 1 $\epsilon_j = 0$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri	61
Tablo 4.26 Senaryo 3 Durum 2 İçin Farklı Parametreler ve Çıktıları	63
Tablo 4.27 Senaryo 3 İçin Hibrit Sistem Kapasite ve Çıktıları	64
Tablo 4.28 Senaryo 3 Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri ($d = 0,01$)	65

1. GİRİŞ

Günümüzde üretim planlama faaliyetlerini gerçekleştirirken sahip olunan kısıtlı kaynakların en iyi şekilde kullanılması, planlama sonucunda elde edilecek üretim parametrelerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi büyük önem taşımaktadır. Öncelikle müşterinin sevkiyat isterlerinin karşılanması, bu isterler karşılanırken küresel problemlerden (ham malzeme sıkıntısı, küresel salgınlar veya doğal afetlerden dolayı meydana gelen sipariş değişiklikleri vb.) ya da müşteri isterleri değişikliklerinden dolayı meydana gelebilecek farklı üretim senaryolarına karşı yeterince esnek olabilmek iş dünyasında başarı elde edebilmek için büyük değer ve önem taşımaktadır.

Müşterinin siparişlerini karşılamaya ek olarak şirketler kendi süreçlerini etkin şekilde yürütmeye ve elindeki kaynakları en etkili şekilde kullanmaya çalışmaktadırlar. Bazı şirketler için karlılık ön planda olmaktadır bazı şirketler için öğrenilen iş, edinilen tecrübenin sektörde yarattığı itibar ve gelecekte getireceği işlerin potansiyeli daha büyük önem taşımaktadır.

Şirketler aldığı siparişleri yönetirken düşük maliyet ya da kaynaklarının doğru kullanımını amaçladığından üretim sistemlerinde işlemde olan mevcut ürün miktarını da sürekli kontrol altında tutmaktadırlar. CONWIP (Constant Work-in-Process) sistemlerinde, süreç içi envanter tüm üretim akışında kontrol altına alınmaktadır (Al-Hawari v.d., 2016). Süreç içi envanterin belli bir seviyesinde, süreç içi envanterdeki artışın verimi arttırmadığı üretim süresini uzattığı ve üretim süresinin varyansını arttırdığı gözlenmiştir (Pettersen ve Segerstedt, 2009).

Üretim sistemleri yönetilirken mevcut üretim sisteminin doğru analiz edilmesi çok önemlidir. Üretim sistemleri genel olarak itme ve çekme olarak ikiye ayrılabilir. Senkronize üretim sistemi, itme ve çekme sistemlerinin beraber kullanıldığı hibrit bir sistemdir. Senkronize üretim sistemine ait parçalar genellikle üretimin ilk aşamalarında itilirken sevkiyat, montaj gibi son aşamalarda çekilirler (Al-Hawari v.d., 2016). Çekme sistemlerinde sistemdeki toplam ara stok miktarı sistemin her aşaması için kontrol altında tutulurken CONWIP sistemlerinde sisteme bir bütün olarak bakılır. Sistemdeki her aşama tek tek incelenmediğinden itme sistemlerinde darboğaz istasyonların önünde yüksek stok birikimi olabilmektedir. CONWIP-çekme senkronize sistemleri ise bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır (Geraghty ve Heavey, 2004).

İtme sistemi geleneksel bir üretim sistemidir ve müşterinin talebi önceden tahmin edilerek büyük miktarlarda stok tutularak üretim yönetilir. İtme sisteminin en büyük dezavantajları ürünlerden gereksiz stok tutulması ve üretim sahasında çalışanların yüksek toplam ara stok miktarlarını yönetmeye çalışırken oluşan senkronize olmayan üretim sistemleridir. İtme sistemlerinin stok miktarlarındaki bu dezavantajlarına karşın çekme sistemlerinden kanban ile müşterinin gerçek talebine uygun olarak sistemden çıkan parça ile üretim tetiklendiğinden yüksek stok miktarları ile karşılaşmamaktadır (Singh v.d., 1990).

Toplam ara stok miktarı kontrolü, ham malzemeleri bitmiş ürüne dönüştüren her üretim sürecinde mevcut olup sistemdeki bir iş istasyonu ile bir sonraki istasyonun ara stok miktarını özellikle görünür kılar (Cuatrecasas-Arbós v.d., 2015). İstasyonların önündeki malzemeler ya da ara stoklar birikmiş işleri oluşturur ve bütün istasyonların önündeki birikmiş işlerin toplamı üretim sistemindeki toplam ara stok miktarını vermektedir.

Mevcut üretim sisteminde de istasyonlar önünde ara stoklar beklemekte, bazı durumlarda oluşan ara stok miktarları üretim alanında sıkışıklığa neden olmaktadır. Müşteriden gelen bir ara stok miktarı hedefi ve önceden yapılmış istasyonlar önünde bulunması gereken ara stok miktarı hesaplamaları mevcut değildir. Tüm bunlar dikkate alındığında üretim planlama ve kontrol faaliyetlerini desteklemek için dikkate alınan planlama dönemindeki en iyi üretim ve toplam ara stok miktarlarını verecek bir matematiksel modele ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda ele alınan üretim sisteminin sahip olduğu kısıtlar ile bir matematiksel model elde edilmiştir. Modelin çıktısını ve geçerliliğini değerlendirmek üzere mevcut sevkiyat takvimi ile modelin analizi yapılmıştır. Matematiksel modelden elde edilen sonuçlar gerçekleştirilecek değişkenlikleri dikkate almak için oluşturulan simülasyon modelinin girdisi olarak kullanılmıştır.

Tez çalışmasının 2. Bölümünde literatürde yer alan ilgili çalışmalara değinilecektir. 3. Bölümde kullanılan modelin tanımı, varsayımlar, modelin bileşenleri ve modelin kurgusu yer almaktadır. 4. Bölümde oluşturulan matematiksel modelin ve simülasyon modelinin analizi, modelden elde edilen sonuçlar yer verilecektir. 5. Bölümde matematiksel modelin çıktısı kullanılarak oluşturulan simülasyon modeli, bu modelin analizi sunulacak ve son bölümde çalışmanın sonuçlarına, değerlendirmelere ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara yer verilecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Üretim planlama faaliyetleri kapsamında müşterinin sevkiyat takvimi planlamanın hedefini oluştururken bu doğrultuda alınacak kararlar firmanın karlılığı ve müşteri takvimine uyum açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında literatürde yer alan itme, çekme ve senkronize üretim sistemleri ile üretim planlama konularındaki benzer çalışmalar, kullanılan metodoloji ve çalışmaların çıktıları incelenmiştir. İncelenen çalışmalar ve tezin literatüre olan katkısı aşağıdaki başlıklarda sunulmuştur.

2.1. Çekme Üretim Sistemleri

Kanban envanter seviyeleri, ham madde kontrolü ve ürün üretimini yönetmek için oluşturulan bir Toyota Üretim Sistemi'dir. Üretimi yönetmek için kartlar kullandığından kanban kelimesi genel olarak kart anlamında kullanılır. Çoğunlukla üretimle ilgili siparişler, malzeme listeleri, üretim emirleri gibi kartlar ile üretim kontrol edildiğinden birçok şirketin kanban sistemini kullandığı söylenebilir. Kanban dinamik talep, işlem süresi belirsizliği, uzun hazırlık süresi, çok çeşitli kalemler ve değişken operasyonlar, ham madde tedarikindeki belirsizlikler gibi durumlarda yeterli olamamaktadır. Kanban sisteminin bu yetersizliklerinden ve kullanım zorluklarından dolayı bu üretim sistemine çeşitli uyarlamalar yaratılmıştır (Lage ve Filho, 2010).

Naufal v.d. (2012) kanban sisteminin üretimdeki ara stok miktarına, üretim süresi ve stok alanında yarattığı iyileştirmeleri incelemişlerdir. Başlangıçta ele aldıkları üretim alanı itme sistemi ile çalışmakta olup yüksek ara stok miktarı ve müşteri siparişi ile uygunsuz üretim içermektedir. İki tür kanban Üretim Talimatı Kanbanı (PIK) ve Üretimden Çekme Kanbanı (PWK) hesabı sunulmuştur. Üretim Talimatı Kanbanı ile gereken ürünün miktarı ile üretme emri verilir. Üretimden Çekme Kanbanı ile müşteri siparişi ile ürün çekilir. Üretilecek ürünlerin üretim frekansı ve ürün karışımı heijunka sıraları ile belirlenir. Hesaplanan Üretim Talimatı Kanbanı hesabı ile parti büyüklüğü elde edilir. Parti büyüklüğü ile ürünün sistemdeki kart sayısı eşit olduğunda ürün üretimini tetiklemek için kartlar alınır ve üretim hattına verilir. Böylece müşterinin gerçek talebine uygun üretim yapılır ve sistemdeki ürün sayıları müşteri talebine göre dengelenir. Çalışmanın sonucunda bitmiş ürünler için hem depolama alanında hem de üretim alanındaki envanter miktarı en aza indirilmiştir. Üretim boyunca ürün çeşitliliğini dengelemek için heijunka sıralarının kullanılması hattaki ürün üretimde düzensizliği önlemiştir.

Olaitan v.d. (2013) iki kanban yerleştirme prensipleri olan S-KAP (paylaşılan) ve D-KAP (tek parçaya adanmış) performansını farklı üretim senaryoları altında incelemiştir. Modelden elde edilen sonuçlar ile bu iki kanban politikasının çok ürünlü bir sistemde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Tošanovic ve Štefanic (2022) kanbanın en çok bilinen çekme politikası olduğunu ve sonrasında birçok çeşidinin (CONWIP, hibrit kanban-CONWIP) geliştirildiğini belirtmektedir. Çalışmalarında çekme sistemlerinin farklı üretim koşullarında üretim süresini nasıl etkilediği simülasyon ve deney tasarımı yardımıyla incelenmektedir. Kanban üretim sistemini uygulamak için üretimde talep değişkenliğinin ve ürün çeşitliğinin az olması, üretim sisteminin stabil olması ayrıca makine hazırlık sürelerinin minimumda tutulması gerektiği belirtilmiştir. Yaptıkları incelemede kanban kartı sayısı arttıkça üretim süresinin arttığı gözlemlenmiştir. Darboğaz olan üretim sisteminde hibrit üretim en düşük üretim süresini sağlarken darboğazın olmadığı senaryoda kanban üretim sistemi daha kısa üretim süresini sağlamıştır. CONWIP üretim sisteminin yüksek değişkenlikte üretim süresinde daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak herhangi bir çekme sisteminin en iyisi olduğu söylenemeyip farklı koşullarda farklı çekme sistemlerinin tercih edilmesi gerektiği gösterilmiştir.

2.2. İtme Üretim Sistemleri

Venkatesh v.d. (1996) itme üretim sistemlerini çekme üretim sistemlerinden farklı olarak bir sonraki makinenin isteğine bakmadan üretim yapan sistemler olarak tanımlamaktadır.

Genel olarak yapılan çalışmalarda itme üretim sistemlerinin tek olarak incelenmediği, çekme sistemleri ile karşılaştırıldığı ya da senkronize üretim sistemlerinin kullanıldığı çalışmalarda incelendiği durumlar literatürde yer almaktadır.

Toni ve Caputo (1988) itme ve çekme arasındaki farkın bilginin kaynağına göre ayırt edileceğini söylemiştir. Çalışmada kullanılan tanıma göre itme, bir ihtiyacı önceden tahmin ederek harekete geçmek, çekme ise istek üzerine harekete geçmek anlamına gelmektedir. Benzer şekilde üretim planlarını da tahmine dayalı olması durumunda itme, siparişlere dayalı olması durumunda çekme olarak sınıflandırmışlardır.

Bonney v.d. (1999) yüksek hazırlık süreleri gibi birkaç koşul altında çekme ve itme sistemlerini simülasyon yardımı ile karşılaştırmışlardır. Ele aldıkları çalışmada çekme ve itme sistemlerinin farklı tanımlamalarını detaylıca ele almışlardır. Genel olarak itme sisteminde bilgi akışının malzeme akışıyla aynı yönde olduğu sistem olarak

tanımlamışlardır. Stoğun aynı olduğu durumda itme sisteminin daha fazla talebi karşıladığını incelenmiş, çekme sisteminde kanban sayısı artınca iki üretim sisteminin performansının aynı seviyeye geldiğini gözlemlemişlerdir.

Ramachandran v.d. (2002) çekme sistemleri ile üretilecek parçaların stoğa üretmeye uygun olan parçalar olduğunu belirtmiş ve yaptıkları çalışmada ürün yapısının %70'ini oluşturup ürün maliyetinin %10'unu oluşturan parçaları ABC analizinde C olarak adlandırıp itme üretim sistemi ile üretimine karar vermişlerdir.

Wee v.d. (2009) Tayvanlı şirketlerdeki üretim sistemlerini 203 geçerli anket üzerinden incelemişlerdir. İnceledikleri makine-metal şirketlerinin %19,4'ü, bilgisayar-bilişim sektöründeki şirketlerin %42,1'inin itme üretim sistemini kullandığını gözlemlemişlerdir. Problem çözme, müşteri memnuniyeti ve tedarikçi yönetiminde itme sistemlerinin çekme sistemlerine göre geride kaldığını belirtmişlerdir.

2.3. CONWIP Üretim Sistemleri

CONWIP (Constant Work-in-Process) sisteminde; süreç içi envanter toplam üretim akışında kontrol altına alınmaktadır, kanban sisteminden farklarından biri süreç içi envanteri kontrol eden bu kartlar sadece ilk iş istasyonundaki tüm ürünlere iliştilmektedir (Erozan, 2019). Kanban rekabetçi ve stabil üretim sistemleri için geliştirildiğinden değişen talep ve daha fazla ürün çeşidine sahip olan sistemler için daha esnek olduğundan CONWIP önerilmiştir (Koçak, 2008).

Pettersen ve Segerstedt (2009) tarafından yapılan çalışmada, imalat safhasındaki işin (Toplam ara stok) miktarının kısıtlandığı küçük bir tedarik zinciri üzerinde bir simülasyon çalışması sunulmaktadır. Ele alınan tedarik zinciri, stokastik çalışma sürelerine sahip beş bağlantılı makineden veya üretim tesisinden oluşmaktadır. Makinelerdeki iş sayısının ve tampon alanların kısıtlandığı bir dizi test senaryosu yapılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi sonucunda teoride CONWIP kontrolünün kanban kontrolüne tercih edilmesi gerektiği ileri sürülmektedir. Süreç içi envanterin belli bir seviyesinde, süreç içi envanterdeki artışın verimi arttırmadığı üretim süresini uzattığı ve üretim süresinin varyansını arttırdığı gözlenmiştir. Çalışmada tedarik zincirindeki üretim tesislerindeki kapasitelerin olabildiğince dengeli olması ve envanter için ekstra kapasitenin çıktı oranının arttırılması amacıyla zincirin sonuna yerleştirilmesi önerilmiş, CONWIP'in uygulama açısından kanbana göre belirsizlikleri olduğundan bahsedilmiştir.

Amar v.d. (2010) sistemdeki maksimum sayıyı toplam ara stok miktarı olarak (Toplam ara stok, her bir işi ayrı ayrı gerçekleştirmek için gereken bütün parçaların toplamı kabul edilir.) ve parçaların transfer edildiği sistemle birleşikmiş gibi düşünerek oluşturdukları model ile toplam ara stok için optimum miktarı göstermişlerdir. Problem çözelgeleme problemi olduğu için operasyonlar arasındaki öncelik kısıtlamaları ve kaynak paylaşımları göz önünde bulundurulmuş ele aldıkları sistemdeki montaj ve demontaj işlemleri incelenmiştir.

Savsar (2011) süreç içi envanterin (Toplam ara stok) sabit tutulduğu itme-çekme senkronize bir sistemde ekipman problemlerine üretim miktarının duyarlılığından dolayı bir model aracılığıyla orta basamaklarda optimize edilmiş süreç içi envanter miktarı ve son basamakta kanban miktarını araştırmıştır. Ayrıca, hattın performansını farklı parametrelerle ölçmek için de bir simülasyon modeli kullanmıştır.

Prakash ve Feng (2012) dört CONWIP sistemi modelinin çalışmasını açıklamaktadır, bunlar temel CONWIP sistemi, hibrit CONWIP sistemi, çok ürünlü CONWIP sistemi ve paralel CONWIP sistemidir. CONWIP sistemleri geniş çapta simülasyon çalışmalarında test edilmektedir. Sistemdeki minimum toplam ara stok miktarını korumak için ara stoğu yalnızca ihtiyaç duyulduğunda bir sonraki operasyona iletilebileceğini belirtmişlerdir, bu durum da çekme sisteminin temelini oluşturmaktadır. CONWIP sisteminin temel halinde kartlar ürünler arasında paylaşılmakta, ürün grupları için farklı kartlar bulunmamaktadır. Hibrit CONWIP-itme sisteminde bir ürün çeşidi için CONWIP ile üretim yapılırken diğer ürün için talep geldiğinde ürün bitene kadar istasyonlarda itilmektedir. Çok ürünlü CONWIP sisteminde her ürünün kendi kartı mevcuttur. Her ürünün kendi içinde temel CONWIP akışı vardır. Paralel CONWIP sisteminde, bir ürün yüksek miktarda CONWIP kartına sahipken, diğer ürünler düşük talepli CONWIP kartlarını paylaşmaktadır. Ürünlerin kendi içinde döngüsü temel CONWIP sisteminin döngüsüne benzemektedir.

Ferro v.d. (2014) bir şirkette üretimden toplanan verileri müşterinin beklentilerini karşılamada herhangi bir sorun yaşamadan optimal toplam ara stok miktarını bulmak için simülasyon modeli kullanmıştır. Üretimden proses süreleri, makine hazırlık süreleri, kayıtlı üretime verilen aralar, hurda ve problemler için veriler toplanmış, bu verilerin istatistiksel davranışları incelenmiştir. Kullanılan yazılım tarafından normal dağılım veri için uygun görülmüştür. Üretim prosesleri için (fırınlama ve ezme gibi) de istatistiksel analizler yapılmıştır.

On günlük fiziksel üretim miktarı ve sanal üretim sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak düşen toplam ara stok miktarı ile stok maliyetinde %80 iyileşme gözlemlenmiştir.

Al-Hawari v.d. (2016) dengeli montaj üretim sistemlerinde malzeme ve bilgi akışını kontrol etmek için kullanılan Basestock-Constant Work-in-Process (B-CONWIP) sistemini incelemiştir. B-CONWIP stratejisinin servis seviyesinin önemli olduğu sistemlerde ve BK-CONWIP (Basestock Kanban CONWIP) stratejisinin ise süreç içi envanterin önemli olduğu sistemlerde performansının yüksek olduğu belirtilmiştir. Benzer kanban dağıtım politikası (KDP) ve dengeleme algoritması kullanıldığında ise B-CONWIP ve BK-CONWIP'in yakın performanslar gösterdiği belirtilmekte ancak B-CONWIP uygulama açısından daha kolay olduğundan BK-CONWIP'e tercih edilebileceği ifade edilmiştir.

Jiang ve Rim (2016) teslimat süresini kısaltmak için toplam ara stok envanterlerinin ana süreçlerde tutulması gerektiğini öne sürmüştür, basit BOM yapılı bir örnekte stokastik proses süreleri ile envanter konumlandırma problemini ele almışlardır. Matematiksel model ve genetik algoritma kullanarak küçük BOM yapılı ürünler için geçerli bir çözüm sunmuşlardır.

2.4. Senkronize Üretim Sistemleri

Hirakawa (1996) itme ve çekme sistemlerinin faydalarından yararlanarak tam zamanında üretim için senkronize bir sistem önermiş, çalışmada sistemin performansını ortaya koyan sayısal sonuçlara yer vermiştir. Ele alınan çok aşamalı üretim sistemi modellendikten sonra belli bir talep ve tahmin modeli altında belli üretim periyotlarında sistemin her seviyesindeki envanter seviyeleri incelenmiştir.

Gaury v.d. (1997) on aşamalı tek bir parça üreten bir üretim sisteminde kanban, CONWIP ve senkronize sistemlerin faydalarını yanıt yüzeyi yöntemi ve kesikli olay simülasyonu kullanarak göstermişlerdir. Üretim sistemlerinde hiç makine arızası olmadığı, ham madde tedarikinin sınırsız ve sürekli olduğunu varsaymışlardır. Kullanılan amaç fonksiyonu ise %99 servis seviyesi kısıtı ile süreç içi envanteri minimize etmektedir. Bir istatistiksel yazılım kullanılarak regresyon modelleri ile elde edilen toplam ara stok ve servis seviyesi simülasyon modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda senkronize sistem ile en iyi sonuç elde edilmiş ancak CONWIP ile de yakın sonuçlar bulunmuş, pratiklik açısından CONWIP kullanılabilirliği ancak bütün üretim sistemleri için bunun uygun olmayabileceği belirtilmiştir.

Senkronize üretim sistemi, itme ve çekme sistemlerinin hibrit halidir. Senkronize üretim sistemine ait parçalar genellikle üretimin ilk aşamalarında itilirken gönderim, montaj gibi son aşamalarda çekilirler. Senkronize üretim sisteminin kullanımındaki temel amaç itme ve çekme sistemlerinin avantajlarından birlikte yararlanılmasıdır (Erozan, 2019). Hibrit sistemlerde her iki sistemin de iyi yönleri ele alınır. Yüksek verimliliğin sağlanması ve esnek market ihtiyaçlarının karşılanması için entegre ve hibrit üretim sistemlerine büyük bir ihtiyaç vardır (Ramachandran v.d., 2002).

Cochran ve Kaylani (2007) yaptıkları çalışmada birden fazla ürün üretilen çok aşamalı, her bir iş merkezinin farklı ürünleri üretebilmek için birden fazla operasyonu gerçekleştirebildiği bir seri üretim sisteminde yatay olarak entegre edilmiş senkronize çekme ve itme üretim sistemini ele almışlardır. Sistemin itme kısmı için güvenlik stoğu, çekme kısmı için de kanban miktarını, her bir parçanın ayrı ya da bütün sistem için ortak bir bağlantı noktasının uygun olup olmadığı problemini genetik algoritma ve kesikli olay simülasyonu ile ele almışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, sadece itme ya da çekme sistemini kullanmak yerine bunların beraber kullanıldığı hibrit bir sistemde maliyetten tasarruf edildiği görülmektedir.

Altun ve Göleç (2011) beş istasyonlu seri üretim hattında optimize edilen itme, çekme ve senkronize üretim sistemlerinin performanslarını akışı maksimize edecek şekilde simülasyon modeli ve ortogonal dizin ile her biri üç seviyeli dört faktörlü deney tasarımı (süreç içi envanter, sistem çıktısı ve akış süresi değerleri) kullanarak karşılaştırmıştır. Verilen deney sonuçlarında CONWIP, kanban ve Trampet-Tampon-Kordon (DBR) sistemleri için faktörlerin etkilerinin grafiksel gösterimi verilmiştir. Kanban sisteminde talep belirsizliği ve hazırlık süresi faktörleri 1. seviye, DK'nın (Değişim Katsayısı) 2. seviyesi (işlem süresi ve hazırlık süresi değişim katsayısı), hat dengesizliğinin 3. seviyesinde süreç içi envanter seviyesinin minimize edilmekte olduğu görülmüştür. CONWIP sisteminde talep belirsizliğinde, hazırlık süresinde artma; DK katsayısında azalma olduğu ayrıca hat dengesizliğinin en yüksek olduğu durumda süreç içi envanter minimum olmuştur. DBR sisteminde talep belirsizlik düzeyinin 2. seviyesi, hazırlık süresi, DK katsayısı ve hat dengesizlik düzeyi faktörünün 1. seviyesi için ortalama süreç içi envanter miktarı minimize edildiği gösterilmiştir.

Mahapatra v.d. (2012) üç aşamalı, stoğa üretim yapılan bir tedarik zincirinde çekme ve itme-çekme üretim sistemlerinin etkisini incelemişlerdir. Çekme sisteminde gelen periyodik siparişler göz önünde bulundurulurken itme-çekme üretim sisteminde ilk

prosesler itme ile son proseslerin ise çekme ile üretim yaptığı durum incelenmiştir. Üretim süresi değişkenliği ve talep belirsizliğinin etkilerinin incelenmesi için simülasyon kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada üç aşamalı bir tedarik zincirinde çekme ve hibrit politikaların performansları nasıl farklılık gösterdiği incelenmektedir. Çekme üretim sisteminin çıktılarına bakıldığında daha kısa üretim süreleri görülmektedir ancak optimum stok seviyelerinin korunamadığı gözlemlenmiştir. Öte yandan, itme-çekme hibrit üretim sistemi talep değişkenliğine daha iyi uyum sağlamaktadır fakat hibrit sistemde daha uzun üretim süreleri çalışmanın sonucu olarak gösterilmektedir.

Onyeocha v.d. (2015) Basestock-Kanban-CONWIP (BK-CONWIP) üretim kontrol stratejisinin, değişken talebe sahip dört ünlü beş aşamalı oldukça otomatik, operasyonlar sırasında operatörlerden az girdi gerektiren bir üretim sisteminde performansını araştırmaktadır. Süreç içi envanteri en aza indirirken hedeflenen hizmet seviyesine ulaşmak amaç fonksiyonu olarak alınmıştır. Simülasyon tabanlı genetik algoritma ile optimizasyon kullanılmış ve S-KAP BK-CONWIP'in diğer kanban benzeri üretim kontrol sistemlerinden daha iyi performans göstereceği açıklanmaktadır.

Puchkova v.d. (2016) makine arızası, kalite problemleri, normal üretim senaryolarının itme ve üç geleneksel çekme yöntemi ve bunların herhangi bir kombinasyonu ile (CONWIP, kanban ve Basestock) üretim ve stokta tutma maliyetlerini incelemişlerdir. Makine bozulmasının olmadığı senaryoda CONWIP sisteminin optimumuna çok yakın bir sonuç verdiği ancak kalite problemlerinin olduğu senaryoda çekme sisteminin en iyi sonucu verdiği gösterilmiştir.

Sinaga ve Wangsaputra (2018) iki şirket arasındaki üretim zincirinde itme-çekme sistemi kullanılarak oluşturulan matematiksel model ile üretim partisinin büyüklüğü, teslimat partisinin büyüklüğü, kanban sayısı, teslimat sıklığı ve stok durumunu incelemektedir. Farklı üretim ve dağıtım stratejilerinin üretim zinciri boyunca malzeme ve ürün akışını nasıl etkilediği gösterilmektedir.

Srikanth v.d. (2018) çekme sistemlerinin CONWIP ile hibrit hallerinin karşılaştırmasını üç farklı hatta sahip sonunda parçaların montajlandığı senkronize bir üretim hattında yapmışlardır. Performans parametreleri olarak üretim miktarı, ortalama bekleme zamanı ve ortalama toplam ara stok alınmıştır. Değerlendirilen tüm beş çekme sistemi için talep arttığında toplam ara stok ve bekleme zamanının azaldığı gözlemlenmiştir. Genel olarak incelenen geliştirilmiş kanban sistemleri CONWIP'e göre üretim miktarı açısından

daha az ürün verse de ortalama bekleme zamanı ve ortalama toplam ara stok daha az gözlemlendiğinden daha iyi sonuç vermiştir.

Erozan (2019) kanban, CONWIP ve POLCA çekme sistemlerinin seçiminde farklı girdilere karşın uygun sistemin seçilmesine yardımcı bulanık mantığa dayalı olan, sistemler arasında karşılaştırmalı sonuç veren bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Farklı üretim ortamları ve pazar şartları, saatlik çıktı sayısı ve ürün çeşidi sistemin girdilerini oluşturmaktadır. Çalışmanın amacı üretim sistemlerinden (CONWIP-kanban, CONWIP, POLCA veya diğer) uygun olanın seçilmesidir.

Çıktıların performansının değerlendirilmesinde sanal veriler kullanılmış, karar destek sistemi ile elde edilen sonuç, uzmanlarla verilmesi beklenen sonuçla birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların konunun uzmanından gelen cevapla yüksek derecede uyum gösterdiği görülmüş, çalışma ile uzman olmayan kişilere yol gösterilmesi amaçlanmıştır.

Pinheiro v.d. (2019) simülasyon kullanarak üç üretim stratejisinin (itme, çekme ve hibrit) gerçek bir sistemde incelemesini sunmaktadır. Çevrim süresi, sistemdeki toplam ara stok miktarı ve müşteri talebinin karşılanma oranı performans parametreleri olarak alınmıştır. CONWIP üretim sisteminde yüksek çevrim süresi, itme sisteminde müşteri talebini karşılama oranı düşüklüğü ve yüksek çevrim süresi gözlemlenmiştir. Çekme üretim sistemi, müşteri talebini karşılamada en iyi performansı, üretim gereksinimlerine uygun çevrim süreleri ve orta düzeyde toplam ara stok göstermiştir. Baskı endüstrisinde uygulanan bu çalışma ile gerçek sistemde tespit edilen üretim çıktılarının doğrulanması sağlanmıştır.

Bortolini v.d. (2021) parçalara en uygun üretim politikasını bulmak amacıyla itme-çekme üretim sistemi için toplam hazırlık süresi ve alan kullanımını optimize eden iki amaç fonksiyonlu bir matematiksel model ve bir simülasyon modelini oluşturmuşlardır. Envanter parametresi EPQ (maksimum saklanabilir parça) ve her parça için üretim parametresi a_i (çeviklik parametresi) hesaplanır. İki amaç fonksiyonun optimal değeri ve parametrelerin değerleri üretimi etkilemeden sipariş değişikliklerine hızlı yanıt verilmesine olanak tanındığı gösterilmektedir.

2.5. Tezin Literatüre Katkısı

Literatürde önerilen tez konusu ile ilgili olarak özellikle kanban konusunda görece çok, itme sistemleri üzerine ise görece az sayıda çalışma yer almaktadır.

Çalışmada öncelikle alanın kısıtları doğrultusunda oluşturulan bir matematiksel model kullanılmaktadır. Matematiksel modelin sonucu olarak kullanıcıya üretim dönemlerinde üretmesi gereken miktarlar ile üretim planı verilmektedir. Bu çalışma ile kısa ve orta dönemli üretim planlamada performansı gösteren bir simülasyon modeli ile karar vericiye daha geniş bir perspektiften seçenekler vererek, müşterilerin farklı talep miktarlarına ve üretim sırasında karşılaşılan hurda ihtimaline karşın üretim planlama faaliyetlerinde karar vericilerin daha hızlı ve doğru kararlar almalarına destek olunması öngörülmektedir. Bu nedenlerle, yapılması önerilen çalışma envanter ve üretim planlama literatürüne bu kapsamda karar vericilere yol göstermesi bakımından katkıda bulunacaktır.

3. PROBLEM TANIMI VE MODEL

Bu tez çalışması kapsamında müşterinin planlama dönemi boyunca gerçekleşen talebini karşılayacak şekilde en iyi üretim miktarı belirlenirken sistemdeki belirsiz bileşenler nedeniyle değişebilen ara stok, nihai stok ve süreç içi envanter miktarlarının simülasyon çalışması yardımıyla analiz edilmesi ve senaryo analizi ile elde edilen sonuçların incelenerek karar vericilere yol gösterilmesi hedeflenmektedir. Elde edilen sonuçların uygulamaya geçirilmesiyle mevcut sistemde kullanılan sezgisel karar mekanizmalarının neden olabileceği yarı ürün yığılmalarının ve elde tutulan fazla nihai ürün stoğunun önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Bu bölümde, modelde kullanılan varsayımlar ve notasyon verilerek, model bileşenleri ile simülasyon çalışması kapsamında kullanılacak algoritma anlatılmıştır.

3.1. Problem Karakteristikleri ve Model Varsayımları

Tüm sektörlerde tedarikçilerin müşterinin kalite ve teslimat tarihi gibi beklentilerini, en düşük envanter seviyesi, minimum operasyonel hata ile karşılaması beklenmektedir. Özellikle havacılık sektöründe üretilen ürünlerin kritik özellikler taşıması nedeniyle firmaların (ya da tedarikçilerin) kalite ve müşteri odaklı tutum sergileyerek müşteri memnuniyetini sağlaması oldukça önemlidir. Müşterilerin taleplerini karşılamak için firmalar ara stok ve nihai stok bulundurmakta, değişen talep doğrultusunda iş istasyonlarının üretim miktarlarını, müşteri taleplerini karşılamak koşuluyla, istasyonlar arası ara stoklarını dengeleyecek ve azaltacak şekilde belirlemektedir. Bu çalışmada, müşteriden gelen aylık hedef üretim miktarları göz önünde bulundurularak kapasite ve ele alınan senaryolardaki projelerin kısıtları üzerinden elde edilen matematiksel model ile en iyi üretim miktarları elde edilecek, bu miktarlar ile itme-çekme sistemlerinin senkronize performansı simülasyon yardımıyla incelenip senaryo analizi gerçekleştirilecektir. Oluşturulacak karar destek mekanizmaları ile elde edilen sonuçların karar vericilere üretim planlama faaliyetlerinde yardımcı olması hedeflenmektedir.

Her üretim alanının fiziki olanakları ve koşulları nedeniyle sahip olduğu kısıtlar bulunmaktadır. Bunlara ek olarak müşteri istekleri doğrultusunda zamanla üretim süreçlerinde dikkate alınması gereken yeni kısıtlar eklenmektedir. Örneğin, çoğu firma yürüttüğü projelerde karlılığı ön planda tutarken bazı firmalar için müşteriden alınan işin öğrenilerek gelecekte kendi firmasında projeyi yürütecek bilgi seviyesini edinmesi veya firmanın bulunduğu bölge için iş kaynağı oluşturması daha önemli olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, üretimin sürekli ve sahip olunan kısıtlarla en yüksek miktarda olacak şekilde planlanması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, iş merkezlerinde üretimin tüm üretim planlama periyodu boyunca kesintisiz devam etmesi beklenmektedir. Bu sebeple ele alınan senaryoların mevcut kısıtları ve müşteri için firmanın bulunduğu sektördeki kısıtlı sayıdaki tedarikçilerinden biri olduğu düşünülerek yapılacak üretim miktarının maksimum seviyeye çıkarılması amaçlanmıştır.

Firmanın karlılık amacı gütmeyip üretimin dalgalanmasından dolayı oluşan kapasiteyi etkileyen değişikliklerin kısa sürede montaj istekleri paralelinde yapılabildiği varsayılmaktadır. Sipariş kapsamındaki parçaların zamanında teslim edilmemesi gibi bir durum kabul edilmeyip gerektiğinde fazla mesai, yeni personel alımı ve iş merkezi sayısının artırımı ile siparişlerin zamanında teslim edileceği varsayılmaktadır. Özellikle yüksek yatırım yapılan iş merkezlerinin boş kalması istenmemektedir. Yıl içinde gerçekleşecek sevkiyat miktarı ortalama olarak önceden müşteriden istenmekte olup bu miktarlara göre iş merkezlerindeki koji sayısı ve çalışan adam sayıları hesaplanmakta gerektiği takdirde değişiklikler yapılmaktadır. Koji ve adam sayısı kısıtlarından dolayı bir vardiyada üretilebilecek ürün miktarı sabit ve sınırlıdır. Bu çalışma kapsamındaki senaryolarda belli miktarda ürün önceki dönemlerde müşteriye sevk edilmiş olduğu için tasarımsal hata veya yürürlükte meydana gelen istisnai durumlar görülmediğinden fazla mesai gibi kaynak artırımı modele eklenmemiştir. Mevcut üretim hattında da istisnai durumlar meydana geldiğinde diğer projelerden çalışan kaydırılarak bulunulan durumdan sevkiyat takviminin etkilenmemesi sağlanmaktadır. Bu nedenle ele alınan senaryolarda mevcut kapasitenin müşteri talebini karşılamak için yeterli olduğu varsayımı ile başlanmıştır.

Sevkiyat takvimi, sevk edilecek miktar sürekli güncellenmektedir ve değişen sevkiyat takviminden dolayı üretim planlarının sürekli güncellenmesi gerekliliği doğmaktadır. Sevkiyat takviminde gerçekleşen bu değişikliklere ayak uydurmak ve ekstra yarı-nihai stok tutmanın yanında ürünlerin üretim alanında fiziksel olarak korunmasının zorluğu gibi nedenlerle üretim alanında yüzecek ürün miktarının belirli sınırlar içerisinde tutulması önem taşımaktadır. Proje bazlı üretimlerde önceden atanmış bir alan olabileceğinden fiziki alan kısıtından dolayı iş merkezlerinin önünde stoklanabilecek yarı ürün miktarı sınırlı olabilmektedir. İş istasyonları tarafından yapılan üretim de bu alan kısıtlarını aşmamalıdır. Gerçek sistemlerde aşıldığı durumda ise sıkışmanın yaşandığı istasyondan itibaren üretim arttırılıp ara stokların erimesi sağlanmaktadır.

Bu doğrultuda, belli bir üretim periyodunda iş merkezleri tarafından yapılan üretim miktarı da iş merkezlerinin sahip olduğu alan kısıtından etkilenmektedir.

Ele alınan üretim alanlarında üretilen farklı komponentler bulunabilmektedir. Üretim sonunda tüm komponentler set halinde sevk edilmektedir. Herhangi bir komponentin gecikmesi diğer komponentleri doğrudan etkilediğinden ele alınan modelde üretim süresince alanda yüzen komponentler arası farkların belli miktarlarla sınırlandırılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, yüzen komponent sayıları ile ilgili kısıtlar üretimin devamlılığını aksatmayacak şekilde ve önceden girilen ana üretim planına uygun olacak şekilde yapılmıştır.

Üretime başlanmadan önce her işin tamamlanması için gereken iş merkezi, adam sayısı, vardiya sayısı elde edilen geçmiş tecrübeler ve hesaplamalar sonucu üretim planı oluşturulsa da insan faktörü ve üretim sırasında gerçekleşen hurda gibi beklenmeyen durumlar nedeniyle üretim planının gerçekleşmesinde sapmalar oluşabilmektedir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışması ile bu sapmaların sonucunda üretim hedeflerinin ve sevkiyat takviminin ne kadar etkilendiği analiz edilecektir.

Tüm bu kısıtlar dikkate alındığında, oluşturulacak matematiksel model için varsayımlar aşağıda yer almaktadır.

- Ele alınan senaryoların ve üretim alanlarının sahip olduğu kısıtlar göz önünde bulundurularak planlama periyodu boyunca maksimum üretimin yapılması amaçlanmıştır.
- Sevkiyat takviminde güncellemeler sürekli olsa da yıl boyunca ana üretim planında belirtilen ortalama sayıdan sapma olmayacağı varsayımı ile üretilecek komponent sayılarının belirlenmesi gerekmektedir.
- Sahip olunan kurumsal kaynak planlama sistemi ile parçalar sistemdeki ihtiyaç tarihinden önce montaja ulaşacak şekilde takipleri yapılır. Üretim alanında herhangi bir zamanda gerekli parçalar hazır bulunmaktadır ve parça eksikliğinden dolayı üretim aksamamaktadır.
- Yapılan iş öğrenilmiş olup işçilik süreleri sabittir ve bu sürelerde sapma olmadığı varsayılmıştır.
- Planlama dönemi boyunca yapılabilecek maksimum üretim miktarı ele alınan senaryolar için tüm dönemlerde önceden hesaplanmıştır, mevcut kapasiteler

belirli ve sabittir. Yıllık sevkiyat miktarı müşteriden önceden alındığı ve gerekirse kapasite adam sayısı artırımı, koji eklenmesi yollarıyla arttırıldığı için kapasite dönemsel sevkiyat miktarı dalgalanmalarından etkilenmemektedir. Üretim miktarının artırımı çalışma kapsamında ele alınan kısa vadeli dönemde mümkün değildir. Kapasitenin aşıldığı istisnai durumlarda kojiler arasında çalışan kaydırılmasına gidilmektedir.

- İş merkezlerinde bulunan kojilerin periyodik bakımı, üretim sırasında karşılaşılan beklenmeyen durumlar ve insan faktöründen dolayı plandan gerçekleşen sapmalar matematiksel modelde göz önünde bulundurulmamıştır. Normal şartlar altında ek kaynak kullanımı veya fazla mesainin olmadığı varsayılmış, oluşabilecek üretim miktarı sapmalarını incelemek için simülasyon modeli kurulmuştur.
- Ele alınan senaryolar havacılık sektöründe deneyim kazanma amaçlı yürütülmekte olup stok tutma maliyeti gibi maliyetler önemsenmemektedir ve yüksek nihai ürün stoklarına izin verilmektedir.
- Üretilen ürünler büyük boyutlu olup senaryoların alan kısıtından dolayı toplam ara stok miktarlarının kısıtlanması gerekmektedir.

3.2. Model Kurgusu

Bu tez kapsamındaki matematiksel model maksimum üretim miktarının elde edilmesini amaçlayarak mevcut üretim alanı kısıtları doğrultusunda oluşturulmuştur. Model T dönemden oluşan planlama periyodu için üretim alanındaki toplam I istasyon üzerinden kurgulanmıştır. Üretim alanında farklı komponentlerin değişen sayılarda iş merkezinden oluşan üretim rotalarında paralel ilerlediği senaryo ana model olarak alınmıştır. Paralel ilerleyen komponentler için oluşturulan matematiksel model paralel olmayan durumlar için de kolayca dönüştürülebilmektedir. Model kapsamında kullanılan değişkenler, parametrelerin hesaplamaları ve ele alınan kısıtların açıklamaları aşağıda detaylı olarak aşağıda sunulmaktadır.

3.2.1. Karar Değişkenleri ve Parametreler

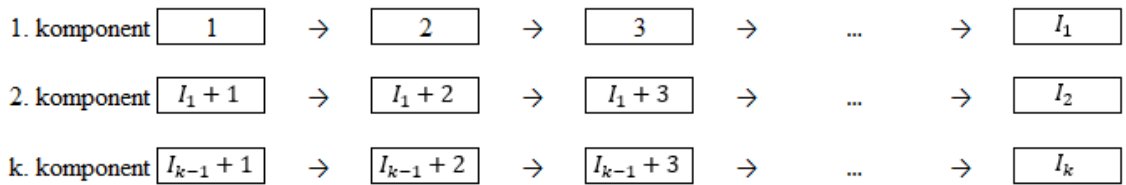
Ele alınan problemde karar değişkenleri üretim planlama biriminin üretim planını oluştururken her iş merkezi için vereceği dönemlik üretim miktarını belirlemesine yardımcı olur. İstasyonların önündeki malzemeler ya da yarı ürünler birikmiş işleri oluşturur ve bütün istasyonların önündeki ara stokların toplamı üretim sistemindeki

envanter miktarını vermektedir. Oluşturulan ana matematiksel model plan sonunda üretim sisteminde oluşacak birikmiş işleri görülmesini sağlayarak alınacak aksiyonları etkileyen sistemle ilgili bilgileri içerir.

Kurgulanan modelde her $i \in \{1,2,3, \dots, I\}$ noktası bir istasyonu/iş merkezini ifade etmektedir. Komponentlerin temsilinde j indeksi kullanılmakta olup ana senaryoda $j \in \{1,2,3, \dots, I_1\}$ komponent 1, $j \in \{I_1 + 1, \dots, I_2\}$ komponent 2 ve $j \in \{I_{k-1} + 1, \dots, I_k\}$ komponent k için kullanılan istasyonları göstermektedir.

Proje başında müşteri tarafından istenen maksimum iş yükü dikkate alınarak gerekli iş merkezi, çalışan sayısı hesaplanmakta ve iş merkezlerinin üretebileceği maksimum komponent miktarı olan sabit $c_{i,t}$ değeri bulunmaktadır. Bu değer, daha sonraki bölümde detaylı açıklanacak olan üretim miktarını veren i . istasyonun t . dönemde yaptığı üretimi ifade eden $U_{i,t}$ üretim miktarı karar değişkeninin maksimum değerini oluşturmaktadır.

Üretim sisteminin çalışabilmesi için başlangıç istasyonlarının önünde gerekli parça kitlerinin hazır olduğu varsayılmakta olup $B0_i$ parametresi i istasyonunun üretimin başlangıcındaki ara stoğunu ifade etmektedir. $B0_i$ parametresi ile sistemin mevcut durumuna göre model çalıştırılabilmektedir. $B_{i,t}$ karar değişkeni ise i istasyonunun t üretim periyodu sonrası ara stoğunu ifade etmekte olup üretim sisteminin başlangıçta sahip olduğu ara stok miktarı $B0_i$ parametresinden etkilenmektedir.



Şekil 3.1 Üretim Akışı Genel Gösterim

3.2.2. Kısıtlar

Oluşturulan matematiksel modelin kısıtları ele alınan sistemdeki kısıtlar doğrultusunda şu şekilde oluşturulmuştur. $U_{i,t}$, t . periyotta i istasyonunun üreteceği miktarı tanımlayan karar değişkeni olup, herhangi bir t periyodunda üretilmesi gereken üretim miktarı bilgisine bu karar değişkeni ile ulaşılabilir. Üretim miktarı karar değişkeni $U_{i,t}$ için komponentlerin hepsi set halinde sevk edildiğinden dolayı planlama dönemi ya da

belirli bir dönem boyunca üretilen komponentler arası farkın belirli bir değerden küçük olması beklenir. Kısıt (1)'de sunulmaktadır.

$$-\varepsilon_j \leq \sum_{t=1}^T U_{I_{j_1},t} - \sum_{t=1}^T U_{I_{j_2},t} \leq \varepsilon_j \quad j_1 \neq j_2 \quad j_1, j_2 \in \{1, \dots, k\} \quad \text{Kısıt (1)}$$

Üretim miktarı karar değişkeni $U_{i,t}$ için koji, adam sayısı gibi alandaki sabit kapasite kısıtlarından dolayı her dönem için i istasyonunda üretilen ürün miktarı sınırlıdır ve Kısıt (2)'de gösterilmektedir.

$$U_{i,t} \leq c_{i,t} \quad \forall i, t \quad \text{Kısıt (2)}$$

Üretim miktarı karar değişkeni $U_{i,t}$ için her dönem üretim yapma amacıyla 0'dan büyük bir $l_{i,t}$ değeri kullanılarak alt sınır verilmiştir ve Kısıt (3)'te gösterilmektedir.

$$l_{i,t} \leq U_{i,t} \quad \forall i, t \quad \text{Kısıt (3)}$$

$B_{i,t}$, t . planlama dönemi sonunda i istasyonunun önünde bulunan ara stok sayısını göstermekte olup $B_{i,t}$ karar değişkeni için iki adet kısıt bulunmaktadır. Kısıtlardan birincisi projeye ayrılmış fiziksel alandan dolayı gerekmektedir. Alandaki fiziksel kısıtlardan dolayı parçaları geçici olarak depolamak için sahip olunan alan sınırlıdır. Mevcut sistemde toplam ara stok sayısının artışı sistemi aşırı yükleyerek alanda bir kilitlenme oluşturabilmektedir. Kısıt (4)'te üretim alanının kitlenmesini önlemek için herhangi bir anda iş merkezleri önünde bekleyen ara stok miktarları sınırlanmıştır.

$$B_{i,t} \leq b_i \quad \forall i, t \quad \text{Kısıt (4)}$$



Şekil 3.2 Stok Denge Kısıtı

Başlangıç istasyonlarının önünde başka bir istasyon bulunmamakta olup üretim işlemleri için gerekli kitler yer almaktadır, ilk periyot stok denge kısıtı Kısıt (5) aşağıdaki şekilde modele eklenmiştir.

$$B_{i,t} = B0_i - U_{i,t} \quad i = 1, I_1 + 1, I_2 + 1, \dots, I_{k-1} + 1 \quad t = 1 \quad \text{Kısıt (5)}$$

Başlangıç istasyonlarının ilk periyot sonrası ara stok hesaplaması Şekil 3.2`de gösterildiği üzere önceki periyottaki ara stok miktarı ile istasyonun t. periyottaki üretimi farkıdır, Kısıt (6) aşağıdaki şekilde modele eklenmiştir.

$$B_{i,t} = B_{i,t-1} - U_{i,t} \quad i = 1, I_1 + 1, I_2 + 1, \dots, I_{k-1} + 1 \quad t \geq 2 \quad \text{Kısıt (6)}$$

Başlangıç istasyonu olmayan ve öncülü olan istasyonun t periyodundaki üretim miktarı farkı, istasyonun t periyodu başındaki ve t periyodu sonunda sahip olduğu ara stok farkına eşit olması durumu, Kısıt (7)'de ifade edilmektedir.

$$B_{i,t} + U_{i,t} - U_{i-1,t} = B_{i,t-1} \quad i \neq 1, I_1 + 1, I_2 + 1, \dots, I_{k-1} + 1 \quad t \geq 1 \quad \text{Kısıt (7)}$$

T periyodunda i istasyonu için üretim miktarı olan $U_{i,t}$, istasyonun t periyodunun başında sahip olduğu ara stok miktarı olan $B_{i,t-1}$ 'den fazla olmamalıdır. Bu durum Kısıt (8)'de gösterilmektedir.

$$U_{i,t} \leq B_{i,t-1} \quad \forall i, t \quad \text{Kısıt (8)}$$

3.2.3. Amaç Fonksiyonu

Çalışma kapsamında projenin kapasite kısıtları dikkate alınıp mevcut koşullar altında üretim miktarını maksimize ederek sistemde oluşacak toplam ara stok miktarının incelenmesi amaçlanmaktadır. Paralel üretilen k komponent set halinde gönderilmektedir ve Kısıt (1)'de komponentler arası miktar farkları azaltılmaya çalışılmaktadır. *UM* İfadesi öngörülen üretim miktarı için kullanılmaktadır ve komponentlerin son iş merkezindeki üretim miktarlarının toplamı ile elde edilir. Amaç fonksiyonu, tüm komponentler için son iş merkezinden çıkan toplam ürün miktarını maksimize etmeyi amaçlar, komponentlerin tamamen set halinde üretilmesi zorunlu olmamakta olup komponentlerin belli dönemler boyunca üretim miktarları arasındaki sapmalara yukarıda belirtildiği üzere belirli sınırlar içinde izin verilmektedir.

$$\text{Maks } UM = \sum_{j=1}^k U_{I_j,t}$$

3.2.4. Model Büyüklüğü

Oluşturulan matematiksel model toplamda 8 farklı kısıt kümesinden oluşmakta, bu kısıtların 3 grubu istasyonların üretim hattının başında veya sonunda bulunması sonucu stok denge kısıtlarının farklı biçimde ifadesini oluşturmaktadır.

Toplam karar değişkeni sayısı:

Matematiksel modelin karar değişkenleri $U_{i,t}$ ve $B_{i,t}$ `dir. Modelde, toplamda $2 \times (I \times T)$ karar değişkeni modelde bulunmaktadır.

Toplam kısıt sayısı:

$$\text{Kısıt (1)} \rightarrow 2k$$

$$\text{Kısıt (2)} \rightarrow (I \times T)$$

$$\text{Kısıt (3)} \rightarrow (I \times T)$$

$$\text{Kısıt (4)} \rightarrow (I \times T)$$

$$\text{Kısıt (5)} \rightarrow k$$

$$\text{Kısıt (6)} \rightarrow k \times (T - 1)$$

$$\text{Kısıt (7)} \rightarrow (I - k) \times (T - 1)$$

$$\text{Kısıt (8)} \rightarrow (I \times T)$$

Toplam kısıt sayısı $(-I + 3k + 5IT)$ ifadesiyle verilmektedir.

3.3. Simülasyon Modeli Kurgusu ve Performansı

Ele alınan sistemdeki senaryolarda müşteriler paylaştıkları sevkiyat takvimindeki miktarlarda komponentin sevk edilmesini istemektedir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan matematiksel model sonucu tüm komponentler için toplam üretim miktarları bulunmaktadır ancak kojilerin periyodik bakımı, üretim sırasında karşılaşılan hurda gibi beklenmeyen durumlar ve insan faktöründen dolayı plandan gerçekleşen sapmaları da göz önünde bulundurmak amacıyla simülasyon çalışması yapılmıştır.

Simülasyon modeli için kullanılan varsayımlar, değişkenler ve parametreler aşağıda açıklanmaktadır.

- Herhangi bir i istasyonunun t döneminde ürettiği komponent miktarını ifade eden $U_{i,t}$ değeri matematiksel modelden elde edilen optimal üretim miktarlarıdır.
- Her $U_{i,t}$ değeri için mevcut üretim hattında oluşabilecek değişkenliği dikkate almak amacıyla değişiklik katsayısı $d > 0$ olarak alınmaktadır.
- Oluşabilecek değişkenliği dikkate almadan önce, simülasyon modelinde mevcut ara stoğun eklenen değişiklik katsayısı ile üretilebilecek maksimum $U_{i,t} + d$

değerinden büyük olup olmadığı kontrol edilmektedir. Oluşabilecek maksimum üretim miktarına göre simülasyonda kullanılmak üzere yeni üretim miktarı $X_{i,t}$ aşağıdaki ifadeye göre belirlenir.

$$X_{i,t} = \begin{cases} \text{Uniform}[(U_{i,t} - d), (U_{i,t} + d)], & U_{i,t} + d \leq A_{i,t-1} \\ \text{Uniform}[(A_{i,t-1} - d), A_{i,t-1}], & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

- Matematiksel modelin çıktısı olan $U_{i,t}$ değeri eklenecek d katsayısı ile simülasyon modelindeki mevcut ara stok miktarı $A_{i,t-1}$ 'den küçük veya eşit olması durumunda uniform dağılım kullanılarak $[(U_{i,t} - d), (U_{i,t} + d)]$ aralığında $X_{i,t}$ değeri belirlenir.
- Simülasyon modelindeki ara stok miktarı d katsayısı ile oluşabilecek maksimum değer olan $U_{i,t} + d$ değerini karşılayamıyorsa uniform dağılım kullanılarak $[(A_{i,t-1} - d), A_{i,t-1}]$ aralığında $X_{i,t}$ değeri belirlenir.
- Üretilen yeni üretim miktarı $X_{i,t}$ değeri ile istasyonların ara stok değerleri $A_{i,t}$ olarak güncellenir.
- Üretim periyotlarında performansın yüksek olduğu durumlar için $U_{i,t} + d$ üst limitinde kapasite göz ardı edilir. Benzer şekilde performansın düşük olduğu $U_{i,t} - d$ alt limitinde de üretim alt sınırı göz ardı edilir.

Bu doğrultuda, simülasyon modelini oluşturmak için gereken üretim miktarları aşağıdaki algoritma ile belirlenmektedir. Üretim miktarı algoritmasının sözde kodu kullanılan notasyon ile beraber aşağıda verilmektedir.

Sezgisel Model Karar Kuralı Algoritması

Notasyon

$X_{i,t}$: Simülasyon modelinde kullanılan, $U_{i,t}$ ile elde edilen üretim miktarı.

d : Değişiklik katsayısı.

$B_{i,t}$: i . İstasyonun t periyodu sonundaki ara stok miktarı.

$A_{i,t}$: Simülasyon modelinde kullanılan $X_{i,t}$ ile elde edilen ara stok miktarı.

T : Planlama döneminin periyot cinsinden uzunluğu.

1. İşleme **başla**

2. Her i istasyonu için $X_{i,t}$ değerini **bul**

Eğer $U_{i,t} + d \leq A_{i,t-1}$ ise,

$$X_{i,t} = \text{Uniform}[(U_{i,t} + d), (U_{i,t} - d)] \text{ üret}$$

Eğer $U_{i,t} + d > A_{i,t-1}$ ise,

$$X_{i,t} = \text{Uniform}[A_{i,t-1} - d, A_{i,t-1}] \text{ üret}$$

3. Her i istasyonu için $X_{i,t}$ değerini kullanarak $A_{i,t}$ değerini **bul**

Eğer $i \neq 1$ ise,

$$A_{i,t} = A_{i,t-1} - X_{i,t} + X_{i-1,t}$$

Eğer $i=1$ ise

$$A_{i,t} = A_{i,t-1} - X_{i,t}$$

4. T değerini **arttır**

5. **Eğer** $t < T$ ise Adım 1'e **dön**

6. **Eğer** $t = T$ ise işlemi **bitir**

4. SAYISAL ANALİZ

Projelerin sevkiyat takvimine olan uyumunu ve süreç içi envanterleri değerlendirebilmek için öncelikle üretim alanının fiziki kısıtları ve kapasitesi göz önünde bulundurularak oluşturulan matematiksel model çözdürülmüştür. Matematiksel modelin çözümü ile elde edilen her dönem üretilmesi gereken en iyi üretim miktarları alınarak alanın gündelik hayatta karşılaşılabilecek parça eksikliği, alet bozulması, hurda ve çalışanlarla ilgili hastalık ya da izin durumlarıyla bu miktarlardan gerçekleşebilecek sapmaların da göz önünde bulundurulabilmesi için simülasyon modeli kurulmuştur.

Oluşturulan modeller ile üretim sistemlerinde farklı performans ölçütlerinin analizleri yapılmıştır. Bu performans ölçütleri:

1. Dönemlik üretim miktarları
2. Ara stok miktarları
3. Müşteri sevkiyat takvimine göre dönem sonu stok miktarları
4. Değişkenliğin olduğu durumda müşteri taleplerini karşılama olasılığıdır.

Ele alınan bu performans ölçütleri ile bu çalışma kapsamında:

1. Farklı üretim senaryolarının performanslarının incelenmesi,
2. Üretim sisteminde gerçekleşen değişkenliğin performans ölçütleri üzerindeki etkisinin incelenmesi,
3. Üretim kapasitesinin farklı üretim senaryolarının performansının üzerine olan etkisinin incelenmesi,
4. Sıklıkla kullanılan üretim sistemlerinin üretim hattına uygulanabilirliği ve uygulandığı durumda performans ölçütlerinin üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçlara ulaşmak için 3 senaryo ile birlikte Tablo 4.1`de sunulan parametreler dikkate alınmış, gerçek senaryolardan elde edilen parametreler kullanılmıştır. Ayrıca performans ölçütlerinin bu parametrelere göre duyarlılığı incelenmiştir.

Tablo 4.1 Kullanılan Parametre Değerleri

Parametre	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Açıklama
T	272	272	272	Planlama periyodu yıllık çalışma günü olarak alınmıştır.
B_{0_1}	544	816	816	İlk istasyonların önünde tüm periyotlar boyunca üretimi destekleyecek miktarda parça kitleri mevcuttur.
$B_{i,0}$	[1 – 3]	[2 – 3]	[2 – 65]	Ele alınan sistemlerdeki istasyonların ara stoğuna eşit olarak alınmıştır.
b_i	10	20	70	Üretim hatlarının ara stokları ve fiziki alanları göz önünde bulundurularak ara stok alanı sınırlandırılmıştır.
$c_{i,t}$	[0,7 – 2]	[2 – 3]	[2,22 – 3]	Ele alınan sistemlerde gerçek kapasite değerleri kullanılmıştır.
ε_j	-	5	5	Farklı komponentlere sahip hatlar için komponentlerin set şeklinde üretilmesi amacıyla kullanılmıştır.
$l_{i,t}$	0,1	1	1	Planlama periyotları boyunca sürekli üretimin sağlanması amacıyla üretim miktarının minimumu alınarak kullanılmıştır.

Senaryo 1

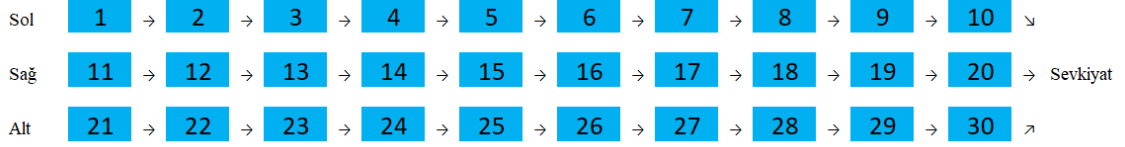
Tez çalışması kapsamında tek komponentli 9 istasyonlu (Senaryo 1) hat akışı Şekil 4.1`de gösterilmektedir. Son dört istasyon günde 2 komponent üretebilmekte, diğer istasyonlar ise günde maksimum 0,7 komponent üretebilme kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.1 Senaryo 1 Hat Akışı

Senaryo 2

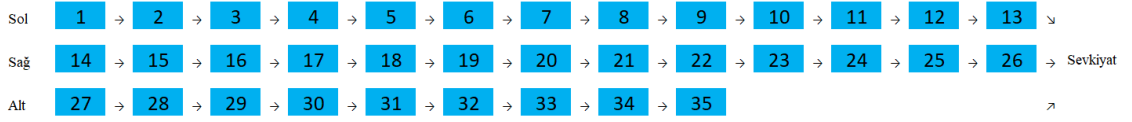
Üç komponentli ve her komponent için 10 paralel istasyona sahip 30 istasyonlu sistem (Senaryo 2) hat akışı Şekil 4.2`de gösterilmektedir. Her bir komponent (sol, sağ ve alt) için son dört istasyon günde 3 komponent üretebilmekte, ilk istasyonlar ise günde maksimum 2 komponent üretim kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.2 Senaryo 2 Hat Akışı

Senaryo 3

Üç komponentli ve alt komponentin farklı sayıda istasyona sahip olduğu 35 istasyonlu sistem (Senaryo 3) hat akışı Şekil 4.3`te sunulmaktadır. Bu senaryo için son dört istasyon günde 3 komponent üretebilmekte, ilk istasyonlar ise günde maksimum 2,22 komponent üretim kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.3 Senaryo 3 Hat Akışı

Ele alınan senaryoların sahip olduğu fiziki kısıtlar göz önünde bulundurularak matematiksel modelleri oluşturulmuş ve çözülmüştür. Çözülen 3 farklı matematiksel modelin çözüm süresi modelin sahip olduğu komponent ve istasyon sayısına göre değişiklik göstermektedir. Oluşturulan matematiksel model ve simülasyon modeli AMD Ryzen 5 3500U işlemcisi ile Python programlama dilinde kodlanarak çözdürülmüştür. Yapılan denemelerde çözüm süresi 40 saniye ve 1 dakika aralığında değişmektedir. En kısa çözüm süresine Senaryo 1 sahip olup, en uzun çözüm süresine ise istasyon sayısı en yüksek olan Senaryo 3 sahiptir.

Matematiksel modelin çıktıları olan dönemlik en iyi üretim miktarları ve en iyi ara stok miktarları üretim sırasında karşılaşılabilecek ve bu üretim miktarlarından sapmaya neden olabilecek durumların etkisinin incelenmesi amacıyla simülasyon modelinde

kullanılmıştır. Simülasyon modelinde istasyonun önündeki ara stok miktarı kullanılarak gerçekleştirilecek üretim miktarı $\pm d$ değişiklik katsayısı ile değiştirilerek 272 periyot için ortalama üretim ve istasyonların sahip olduğu ara stok miktarları incelenmiştir. Simülasyon modeli 100 iterasyon için çalıştırılmıştır, simülasyon 272 periyotla sınırlandırıldığı için sonlandırılan simülasyon kullanılmıştır.

Bu doğrultuda farklı komponent çeşidi ve iş merkezi sayısına sahip senaryolar için simülasyon modeli farklı d değerleri ile çözdürülmüştür. Senaryoların sevkiyat takvimine olan uyumu değerlendirilmiştir. Oluşturulan simülasyon modeli farklı senaryolar için incelenmiş olup müşterinin oluşturduğu sevkiyat hedefini gerçekleştirme olasılıkları tahmin edilmiştir.

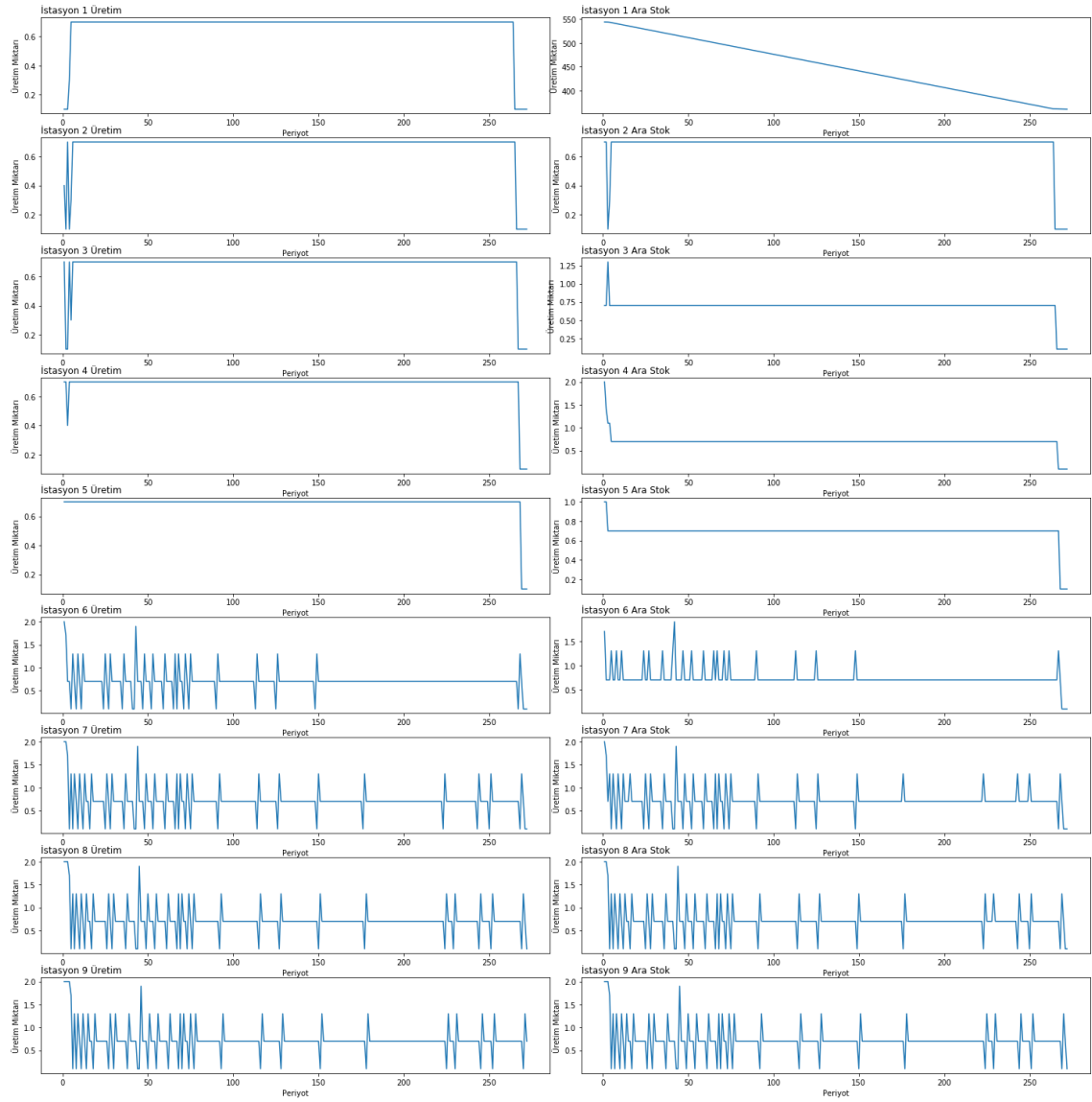
4.1. Senaryo 1 Analizi

4.1.1. Matematiksel Model Analizi

Tek komponentli 9 istasyonlu Senaryo 1 için oluşturulan matematiksel modelde ara stoklar mevcut sisteme uygun olarak alınmıştır ve model hattın fiziksel kapasitesine uygun olarak çalıştırılmıştır.

Şekil 4.4'te matematiksel model için optimal üretim ve ara stok grafikleri yer almaktadır. İlk istasyonun üretim çıktılarına bakıldığında bu istasyon 1. periyotta 0,1 komponent ile üretime başlamış ancak 5. periyottan 265. periyoda kadar maksimum kapasitesi olan 0,7 komponent/periyot ile üretime devam etmiştir. 2. İstasyon 0,4 komponent ile üretime başlayıp periyotlar süresince üretim miktarında dalgalanmalar olsa da 6. periyottan itibaren 1. istasyonun üretim miktarından etkileninceye kadar ara stok ve maksimum üretim kapasitesi miktarı olan 0,7 komponent üretim yapmış sonrasında üretimini 0,1 komponente düşürmüştür. Benzer üretim dalgalanması 4. ve 267. periyotlarda 3. istasyon için yaşanmıştır. 4. İstasyonun üretimine bakıldığında sadece 3. periyotta 0,4 komponent üretim yapılmış sonrasında 268. periyoda kadar maksimum kapasite olan 0,7 komponent ile üretime devam etmiştir. 5. İstasyon ise 269. periyoda kadar maksimum kapasite ve bu periyotlar boyunca ara stok miktarı olan günde 0,7 komponent kadar üretim yapmaktadır. İstasyonlar için ilk periyotlarda gerçekleşen üretim dalgalanmasının başlangıç ara stokları farkından dolayı olduğu görülmektedir. Bu senaryoda, üretim sistemi en iyi durumda, mevcut ara stoğu maksimum üretim miktarı olan 0,7 komponente düşürene kadar dalgalanan miktarlarda üretim yapmakta sonrasında ara stoğu kadar üretim yaparak üretime devam etmektedir.

Belirtildiği üzere 6, 7, 8 ve 9. istasyonlar her periyotta maksimum 2 komponent üretebilecek kapasiteye sahiptir. Son 4 istasyonun kapasiteleri üretim hattının başındaki istasyonlardan daha fazla olduğu ve ara stok miktarları daha az olduğundan bu istasyonların bir önceki istasyonun üretiminden etkilenip daha çok dalgalı üretim yaptığı görülmektedir. Son istasyonlar çoğunlukla ilk istasyonların maksimum kapasitesi olan 0,7 komponent ile üretim yapmaktadır.



Şekil 4.4 Senaryo 1 İçin Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri

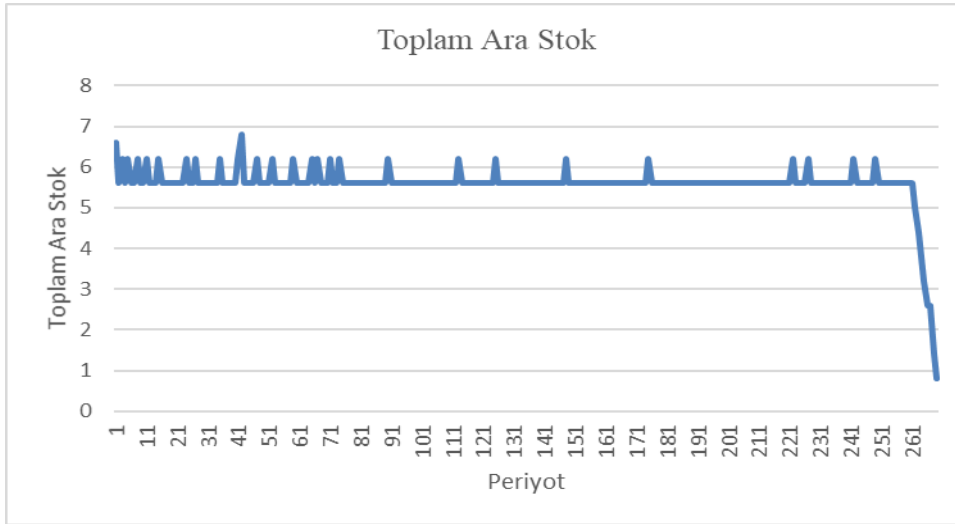
Tablo 4.2`de matematiksel modelin sonuçlarında gösterildiği üzere istasyonlar arası maksimum 2 komponent ara stok bulundurulmuştur. Bu durum ele alınan sistem ile uyuşmakta olup bu sistemde eksik parça gibi beklenmeyen durumlar olmadığı sürece istasyonlar önünde maksimum 3 komponent ara stok gözlemlenmiştir.

Üretimin sürekliliğinin sağlanması adına Tablo 4.2`de görüldüğü üzere modelin periyotta minimum 0,1 komponent üretmesi sağlanmıştır.

Tablo 4.2 Senaryo 1 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri

İstasyon No	İstasyonun Maksimum Üretimi	İstasyonun Minimum Üretimi	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	İstasyonun Minimum Ara Stoğu
1	0,700	0,100	-	-
2	0,700	0,100	0,700	0,100
3	0,700	0,100	1,300	0,100
4	0,700	0,100	2,000	0,100
5	0,700	0,100	1,000	0,100
6	2,000	0,100	1,900	0,100
7	2,000	0,100	2,000	0,100
8	2,000	0,100	2,000	0,100
9	2,000	0,100	2,000	0,100

Matematiksel modelin çıktıları daha detaylı incelendiğinde modelin periyotların önemli bir kısmında ara stok olarak 5,6 komponenti üretim alanında toplam ara stok olarak tuttuğu görülmektedir. En iyi toplam ara stok miktarı Şekil 4.5`te yer almakta olup son istasyonlar komponentlerin üretimini tamamlayabilmek ve üretimi maksimize edebilmek amacıyla son periyotlarda ara stokları hızlıca eritmektedir (İlk 3 periyottaki toplam ara stok miktarı ve ilk istasyonun önündeki kitler göz önünde bulundurulmamıştır.).



Şekil 4.5 Senaryo 1 İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Model yıl sonuna kadar toplamda 196,600 komponent üretmiştir. Bu üretim miktarı müşterinin ilettiği hedef sayılar ile karşılaştırılırken modelin aylık verdiği en iyi üretim miktarı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sonuçları Tablo 4.3`te verilmekte olup en iyi üretim miktarlarının ele alınan sistemle uyumlu stok miktarları verdiği gözlemlenmektedir. Bu sistemde yıl sonuna doğru stok tutulmakta ve bu durum müşteri tarafından desteklenmektedir. Sonuçlar incelendiğinde ay sonu stokların 6 ve 7. ayda oldukça düşük olduğu görülmektedir. Yıl sonunda modelin Senaryo 1 için gerçek müşteri hedefleri dikkate alındığında 13,6 komponent stok yaptığı görülmektedir. Temel modelde en iyi üretim miktarları elde edilirken modele müşteri hedefleri ile ilgili bir kısıt eklenmediği bilgisini hatırlatmakta fayda bulunmaktadır.

Tablo 4.3 Senaryo 1 İçin Hedef Sayılar ve Stok Miktarları

Ay	Hedef Sayılar	Model Üretim Miktarı	Fark	Stok
1	17	23,000	6,000	6,000
2	18	15,400	-2,600	3,400
3	19	17,500	-1,500	1,900
4	15	14,000	-1,000	0,900
5	15	16,100	1,100	2,000
6	15	13,300	-1,700	0,300
7	15	15,400	0,400	0,700
8	15	16,800	1,800	2,500
9	14	16,100	2,100	4,600
10	14	15,500	1,500	6,100
11	13	17,400	4,400	10,500
12	13	16,100	3,100	13,600

Bu sistemde Tablo 4.3`te verilen sonuçlarda hedef sayıların yıl sonuna doğru azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.4 Senaryo 1 İçin Hedef Sayılar ve Stok Miktarları

Ay	Hedef Sayılar	Model Üretim Miktarı	Fark	Stok
1	13	23,000	10,000	10,000
2	13	15,400	2,400	12,400
3	14	17,500	3,500	15,900
4	14	14,000	0,000	15,900
5	15	16,100	1,100	17,000
6	15	13,300	-1,700	15,300
7	15	15,400	0,400	15,700
8	15	16,800	1,800	17,500
9	15	16,100	1,100	18,600
10	19	15,500	-3,500	15,100
11	18	17,400	-0,600	14,500
12	17	16,100	-0,900	13,600

Hedef sayıların zamanla artma eğiliminde olduğu durumu ele almak için hedef sayılar sondan başa doğru varsayılarak bu durum için stok seviyeleri Tablo 4.4`te sunulmaktadır. Bu sonuçlara göre bütün ayların sonunda önemli bir miktarda stok tutulduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4`te verilen sonuçlarda model çıktısının ele alınan sistemin hedef sayılarına göre yıl sonunda oldukça yüksek bir stok tutulduğu gözlemlenmektedir. Buna göre, modelin hedef sayıları dikkate alması için modelin iki uzantısı Durum 1 ve Durum 2 olarak aşağıda sunulmaktadır.

Durum 1

Modelin ele alınan bu uzantısında, aylık üretim miktarlarının en az karşılık gelen hedef sayılar kadar olduğu kısıtları eklenmiştir. Tablo 4.5`te gösterildiği üzere Durum 1 ile eklenen kısıt sonucunda son istasyonlar için maksimum ara stok miktarlarında artış gözlemlenmiştir. İstasyon 2, 3, 4 ve 5 aynı kapasiteye sahiptir ancak başlangıç ara stokları farklı olduğundan istasyonların maksimum ara stok değerleri değişmektedir.

Tablo 4.5 Senaryo 1 Durum 1 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri

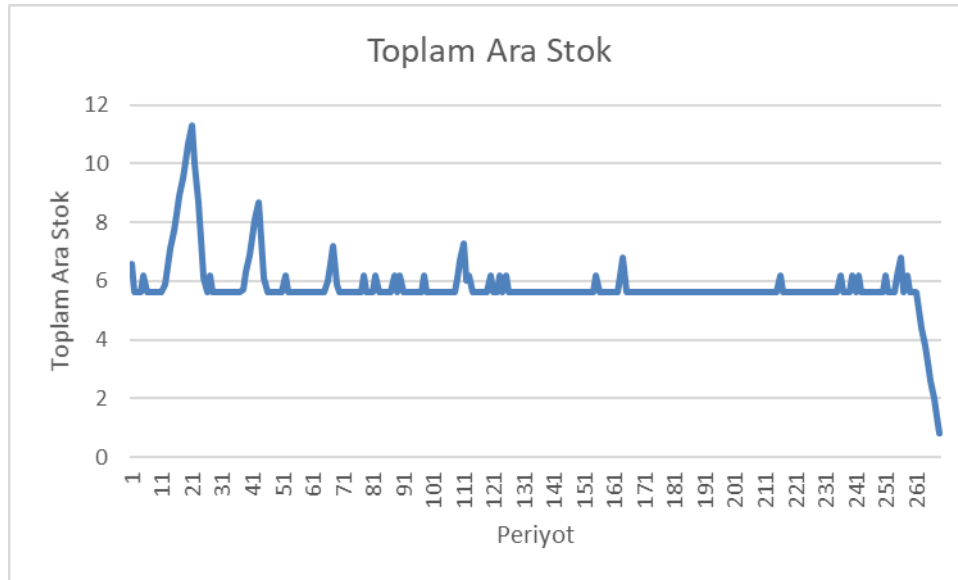
İstasyon No	İstasyonun Maksimum Üretimi	İstasyonun Minimum Üretimi	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	İstasyonun Minimum Ara Stoğu
1	0,700	0,100	-	-
2	0,700	0,100	0,700	0,100
3	0,700	0,100	0,700	0,100
4	0,700	0,100	2,000	0,100
5	0,700	0,100	1,000	0,100
6	2,000	0,100	2,500	0,100
7	2,000	0,100	5,800	0,100
8	2,000	0,100	3,900	0,100
9	2,000	0,100	2,400	0,100

Bu kısıt ile model ilk duruma göre ayda farklı miktarda komponent üretse de yıl sonunda temel modele benzer şekilde 13,6 komponent stok yapmıştır, Tablo 4.6`da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Senaryo 1 Durum 1 İçin Hedef Sayılar ve Stok Miktarları

Ay	Hedef Sayılar	En İyi Aylık Toplam Üretim Miktarı	Fark	Stok
1	17	17,300	0,300	0,300
2	18	18,000	0,000	0,300
3	19	19,000	0,000	0,300
4	15	15,000	0,000	0,300
5	15	15,000	0,000	0,300
6	15	15,000	0,000	0,300
7	15	15,400	0,400	0,700
8	15	16,800	1,800	2,500
9	14	16,100	2,100	4,600
10	14	16,100	2,100	6,700
11	13	16,800	3,800	10,500
12	13	16,100	3,100	13,600

Ele alınan bu durum için temel modele benzer şekilde periyotların genelinde 5,6 komponent ara stok olarak tutulmuştur. Şekil 4.6 da verildiği üzere ilk modelden farklı olarak toplam ara stok miktarlarında ilk istasyonlarda daha çok dalgalanma gözlemlenmektedir. Tablo 4.7 de gösterildiği üzere Durum 1 ile eklenen kısıt ile model ilk 3 ay toplamda 1,6 komponent daha az çıktı vermiştir.



Şekil 4.6 Senaryo 1 Durum 1 İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Tablo 4.7 Senaryo 1 Durum 1 İçin Aylık Çıktı Farkı

Ay	En İyi Aylık Toplam Üretim Miktarı	En İyi Aylık Toplam Durum 1 Üretim Miktarı	Fark
1	23,000	17,300	5,700
2	15,400	18,000	-2,600
3	17,500	19,000	-1,500
4	14,000	15,000	-1,000
5	16,100	15,000	1,100
6	13,300	15,000	-1,700
7	15,400	15,400	0,000
8	16,800	16,800	0,000
9	16,100	16,100	0,000
10	15,500	16,100	-0,600
11	17,400	16,800	0,600
12	16,100	16,100	0,000

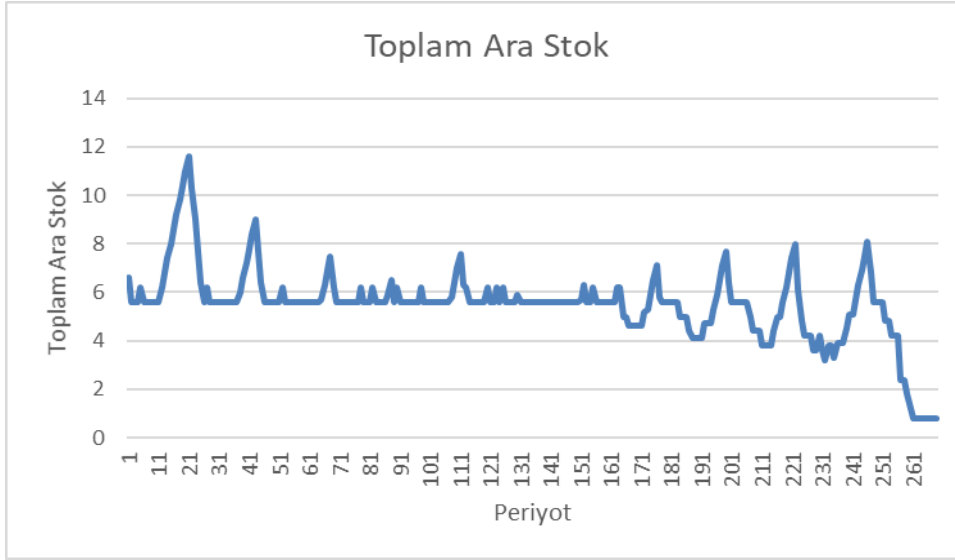
Durum 2

Temel modelin ele alınan bu uzantısında ise aylık üretim miktarlarının karşılık gelen hedef sayılara eşit olması kısıtı eklenmiştir. Bu uzantıda beklendiği üzere hiçbir ay için stok tutulmamıştır. Durum 2 ile eklenen kısıt sonucunda son istasyonlarda maksimum ara stok miktarlarında temel modele göre artış olduğu gözlemlenmektedir. Aylık sevkiyata eşit ya da daha fazla üretimin yapıldığı Durum 1'e göre Tablo 4.8'de sunulduğu üzere son istasyonların maksimum ara stoğunun fazla olduğu elde edilmiştir.

Tablo 4.8 Senaryo 1 Durum 2 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri

İstasyon No	İstasyonun Maksimum Üretimi	İstasyonun Minimum Üretimi	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	İstasyonun Minimum Ara Stoğu
1	0,700	0,100	-	-
2	0,700	0,100	0,700	0,100
3	0,700	0,100	0,700	0,100
4	0,700	0,100	2,000	0,100
5	0,700	0,100	1,000	0,100
6	2,000	0,100	2,800	0,100
7	2,000	0,100	5,800	0,100
8	2,000	0,100	3,900	0,100
9	2,000	0,100	2,700	0,100

Durum 2 matematiksel modeli çıktısına bakıldığında periyotların çoğunda 5,6 komponent üretim alanında toplam ara stok olarak tutulmuştur (İlk 3 periyottaki toplam ara stok miktarı göz önünde bulundurulmamıştır.). Temel model ve Durum 1`den farklı olarak toplam ara stok miktarlarında önemli ölçüde daha fazla dalgalanma oluşmuştur, Şekil 4.7`de verilmektedir.



Şekil 4.7 Senaryo 1 Durum 2 İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Ortalama toplam ara stok dalgalanmalarının nedeni Tablo 4.9`da gösterilen matematiksel modelin çıktısı ile Durum 2`de elde edilen aylık üretim miktarı çıktıları arasındaki fark olduğu görülmektedir.

Tablo 4.9 Senaryo 1 Durum 2 İçin Temel Modele Göre Üretim Değerleri Farkı

Ay	En İyi Aylık Toplam Üretim Miktarı	En İyi Aylık Toplam Durum 2 Üretim Miktarı	Fark
1	23,000	17,000	6,000
2	15,400	18,000	-2,600
3	17,500	19,000	-1,500
4	14,000	15,000	-1,000
5	16,100	15,000	1,100
6	13,300	15,000	-1,700
7	15,400	15,000	0,400
8	16,800	15,000	1,800
9	16,100	14,000	2,100
10	15,500	14,000	1,500
11	17,400	13,000	4,400
12	16,100	13,000	3,100

Hibrit Sistemde istasyonlara verilen farklı kapasite değerleri ve parametrelerin değerleri değiştirilerek üretim sistemlerinin çıktıları incelenmiştir.

4.1.1.1 Senaryo 1 Hibrit Sistem Analizi

Senaryo 1 için oluşturulan hibrit sistemde ara stoklar mevcut sisteme uygun olarak alınmıştır ve model hattın fiziksel kapasitesine uygun olarak çalıştırılmıştır. Hattın kapasitesi son dört istasyon için periyotta 2 komponent, ilk istasyonlarda ise günde/periyotta maksimum 0,7 komponenttir.

Öncelikle hattın çekme mantığıyla çalıştırılması için hedef sayıların toplamı ay cinsinde aylık periyot sayısına bölünmüştür. Bu doğrultuda hattın çekme mantığıyla çalışabilmesi için günde/periyotta 0,67 komponent üretmesi gerekmektedir. Tablo 4.10`da gösterildiği üzere, hat çekme mantığı ile çalıştırıldığında üretim tamamen müşteri siparişlerine göre yapılmakta olup periyotlar sonunda hiç stok tutulmamıştır.

Üretim sistemleri incelendiğinde ilk durum olan çekme üretim sisteminde periyotlarda ortalama 14 komponent toplam ara stok olarak tutulmuştur.

Üretim Sistemi 4 itme üretim sistemini, tam kapasite ile üretim yapılan durumu göstermektedir. Bu durumda yıl sonunda/periyotların sonunda 13,6 stok gözlemlenmiştir. Bu durumda mevcut ara stok alanı 5 komponent ile sınırlandırıldığında sistemde mevcut ortalama toplam ara stok miktarının düştüğü gözlemlenmiştir.

Üretim Sistemi 12 ve 13 hibrit üretim sistemini temsil etmektedir. Model ilk istasyonların itme, son istasyonların çekme ile üretim yaptığı Üretim Sistemi 12 için uygun sonuç vermemiştir. Üretim Sistemi 13`te ilk istasyonlar çekme ile son istasyonlar itme ile üretim yapmıştır. Bu durumun sonucunda yıl sonunda 6,364 stok gözlemlenmiş olup mevcut üretim sisteminde de yıl sonu stoklarının düşürülmesi istenildiğinde bu hibrit sistemin uygulanabilir bir senaryo olduğu görülmüştür.

Tablo 4.10 Senaryo 1 Hibrit Sistem Kapasite ve Çıktıları

Üretim Sistemi	İlk İstasyonlar Kapasite	Son 4 İstasyon Kapasite	Üretim Sistemi Tipi	Ara Stok Alanı	Ortalama Ara Stok (İlk 3 periyot hariç-)	Stok	En İyi Toplam Üretim
1	0,673	0,673	Çekme	10	14,000	0,000	183,056
2	0,690	0,690		10	14,000	4,680	187,680
3	0,690	2,000		10	7,763	10,920	193,920
4	0,700	2,000	İtme	10	7,804	13,600	196,600
5	0,700	2,000	İtme	5	7,764	13,600	196,600
6	0,500	1,000		10	7,102	-40,000	143,000
7	0,500	2,000		10	7,004	-40,000	143,000
8	0,600	2,000		10	7,404	-13,200	169,800
9	0,620	2,000		10	7,484	-7,840	175,160
10	0,620	2,000		5	7,484	-7,840	175,160
11	0,620	2,000		2	7,487	-7,840	175,160
12	0,700	0,673	Hibrit	10			
13	0,673	2,000	Hibrit	10	7,696	6,364	189,364

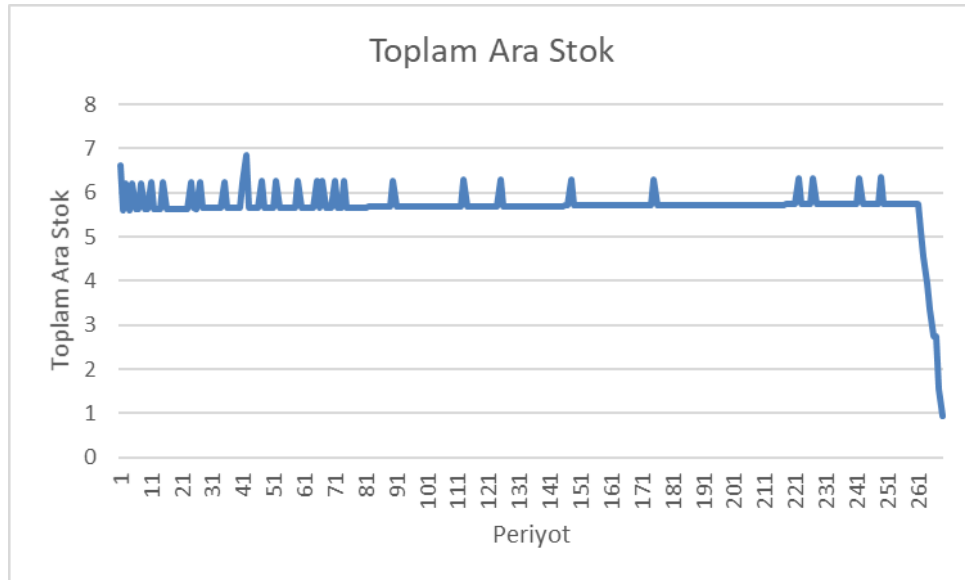
4.1.2 Senaryo 1 Simülasyon Modeli Analizi

Oluşturulan matematiksel modelin çıktıları ve mevcut ara stoklar göz önünde bulundurularak modelin verdiği üretim miktarını ifade eden $U_{i,t}$ miktarları farklı d değişiklik katsayıları ile üretimdeki insan, malzeme gibi faktörlerin etkisi temsiliyle saptırılarak üretim sistemi çıktıları yeniden incelenmiştir. Oluşturulan simülasyon modeli 100 iterasyonda çalıştırılmış olup simülasyon mevcut üretimin ara stokları ile başlatılmıştır. Periyot sayısı olarak yılın iş günü sayısı olan 272 alınmış olup belirlenen bir zaman-durumda başlanıp yine belirlenen başka bir durumda bitirilen Sonlandırılabilir (Terminating) Simülasyon kullanılmıştır. Tablo 4.11`de istasyonlar için maksimum-minimum üretim ve ara stok miktarları yer almaktadır. Tablo 4.11`de yer alan sonuçlar için d katsayısı 0,006 olarak alınmıştır. Birden çok d katsayısı ile çıktılar incelenmiştir.

Tablo 4.11 Senaryo 1 Simülasyonu Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri
($d = 0,006$)

İstasyon No	İstasyonun Maksimum Üretimi	İstasyonun Minimum Üretimi	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	İstasyonun Minimum Ara Stoğu
1	0,706	0,094	-	-
2	0,709	0,092	0,731	0,096
3	0,709	0,089	1,277	0,094
4	0,710	0,099	2,001	0,125
5	0,709	0,098	1,000	0,099
6	1,994	0,095	1,916	0,099
7	1,998	0,094	1,997	0,096
8	2,000	0,090	1,998	0,096
9	1,998	0,091	2,002	0,095

Son dört istasyon günde 2 komponent üretebilmekte, ilk istasyonlar ise günde maksimum 0,7 komponent üretim yapabilmektedir. Matematiksel modelin çıktılarına bakıldığında eklenen değişkenlik matematiksel modele göre daha az üretim yapılmasına neden olmuştur. Bu durumdan dolayı sistemdeki toplam ara stok miktarı bir miktar artarak simülasyonda ortalama toplam ara stok 5,681 olmuştur. Matematiksel modelde amaç fonksiyonu 196,600 iken simülasyonda 100 iterasyonda ortalama 196,459 komponent çıktı verilmiştir.



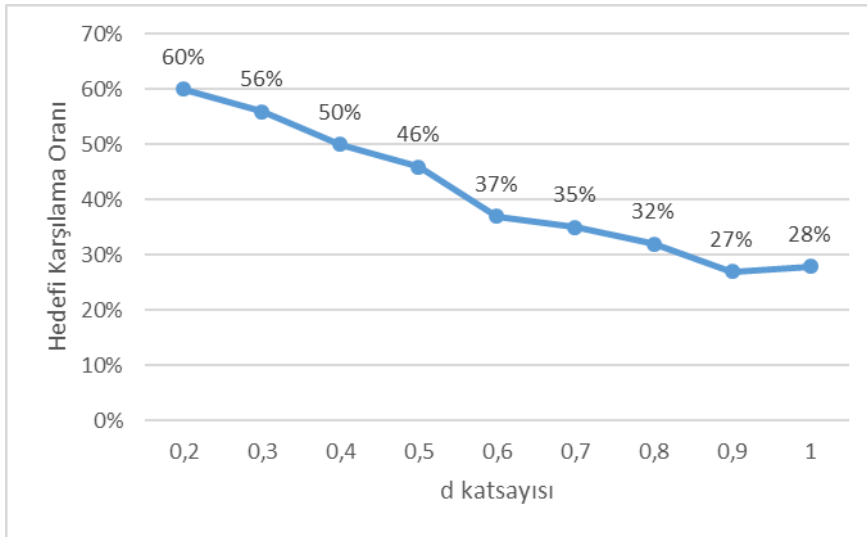
Şekil 4.8 Senaryo 1 Simülasyonu Toplam Ara Stok Miktarları

Matematiksel modelin ve simülasyonun çıktıları d değişiklik katsayısı küçük olması dolayısıyla değişkenlik az olduğundan düşük farklılık göstermektedir. Üretim sistemindeki toplam ara stok miktarları için Şekil 4.8`de görüldüğü üzere temel model ile benzer grafikler elde edilmiştir.

4.1.3 Senaryo 1 Değişiklik Katsayısı Sevkiyatı Karşılama Analizi

Simülasyon modelinde istasyonun önündeki ara stok miktarı ile gerçekleştirilecek üretim miktarı $\pm d$ değişiklik katsayısı ile değiştirilerek 100 iterasyon için yeni üretim ve istasyonların sahip olduğu ara stok miktarları incelenmiştir.

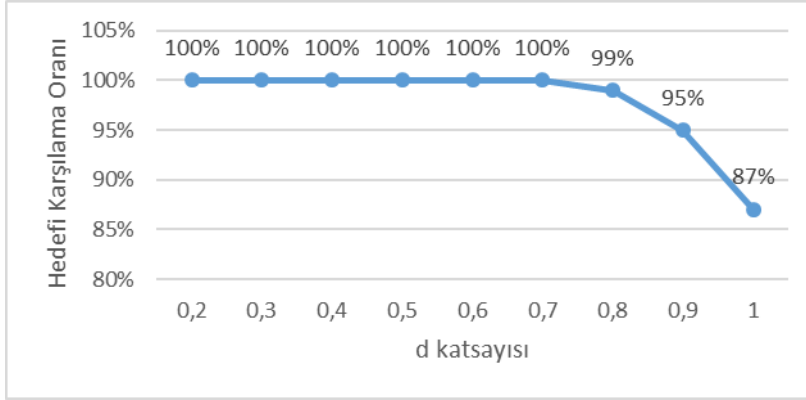
Öncelikle yılın başındaki bitmiş ürün stokları hesaba katılmadan değişiklik katsayısı kullanılarak kurulan simülasyon modeli ile sevkiyat hedeflerinin karşılanma olasılığı hesaplanmıştır. Önerilen simülasyon modelinde d parametresinin değeri arttıkça sevkiyat hedefini karşılama olasılığı %60`tan %28`e kadar azalmaktadır. Değişiklik parametresi ile matematiksel modelin çıktısından elde edilen üretim miktarından yapılacak sapma miktarı belirlendiği için parametre değerinin artması, hedef üretimden yapılan sapmanın arttığı anlamına gelmekte olup Şekil 4.9`da gözlemlenen hedefi karşılama olasılığının azalması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.9 Senaryo 1 İçin d Katsayısına Göre Hedefi Karşılama Oranı

Yılın başında sahip olunan bitmiş ürün stoğu ile Senaryo 1 için sevkiyatı karşılama olasılığı %100`e ulaşmış yılın başında stoğun hesaba katılmadığı duruma göre sevkiyatı karşılama olasılığı artmıştır, Şekil 4.10`da gösterilmektedir.

Yılın başındaki stoklar ile sevkiyat hedeflerini karşılama olasılığı değışiklik katsayısının $[0,2 - 0,7]$ değęer aralığı için %100 olmuş, d katsayısı 1'e çıkarken sevkiyatları karşılama olasılığı %87'ye kadar düşmüştür.



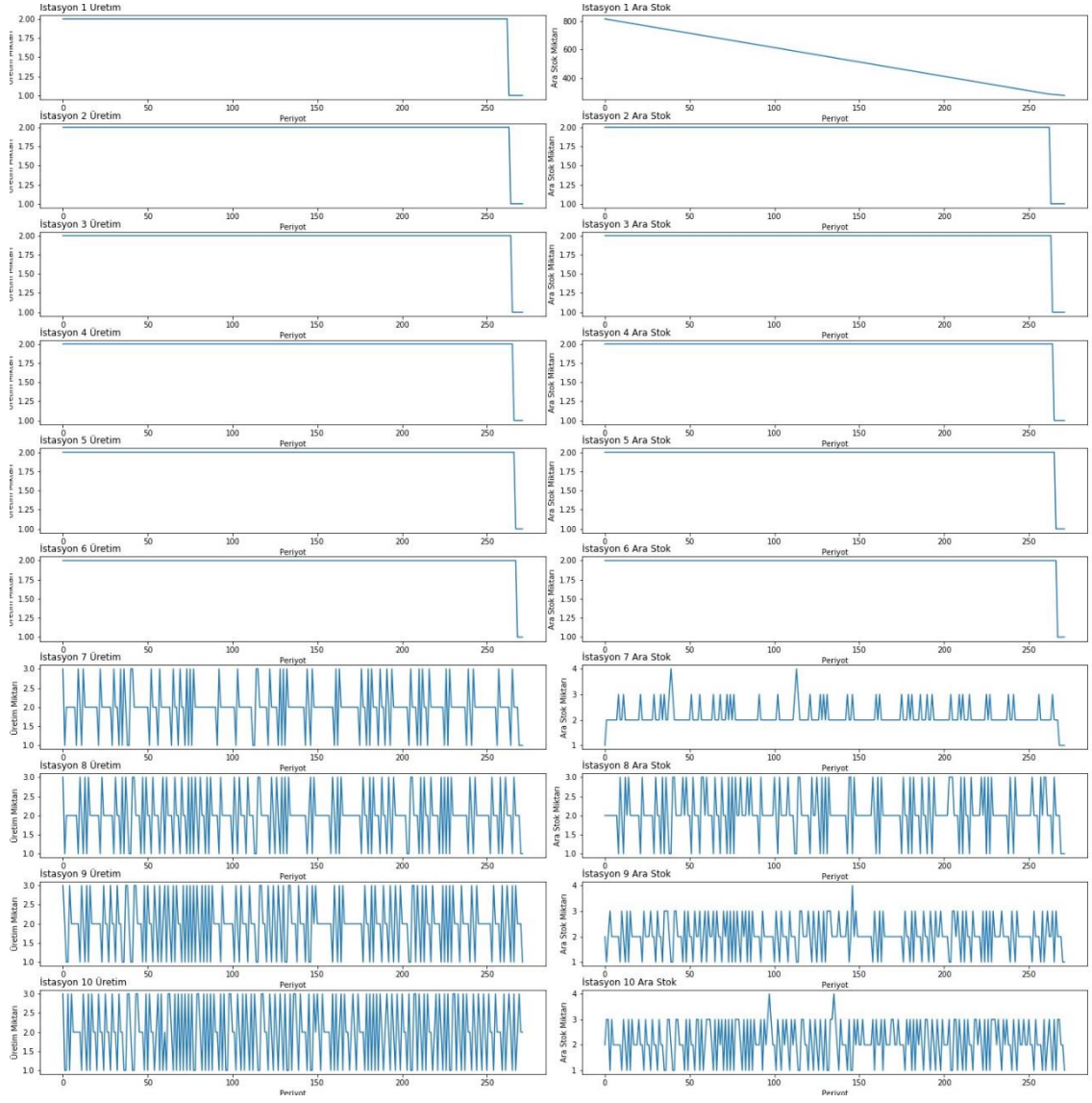
Şekil 4.10 Senaryo 1 İçin d Katsayısına Göre Yılın Başındaki Stoklar ile Hedefi Karşılama Oranı

4.2. Senaryo 2 Analizi

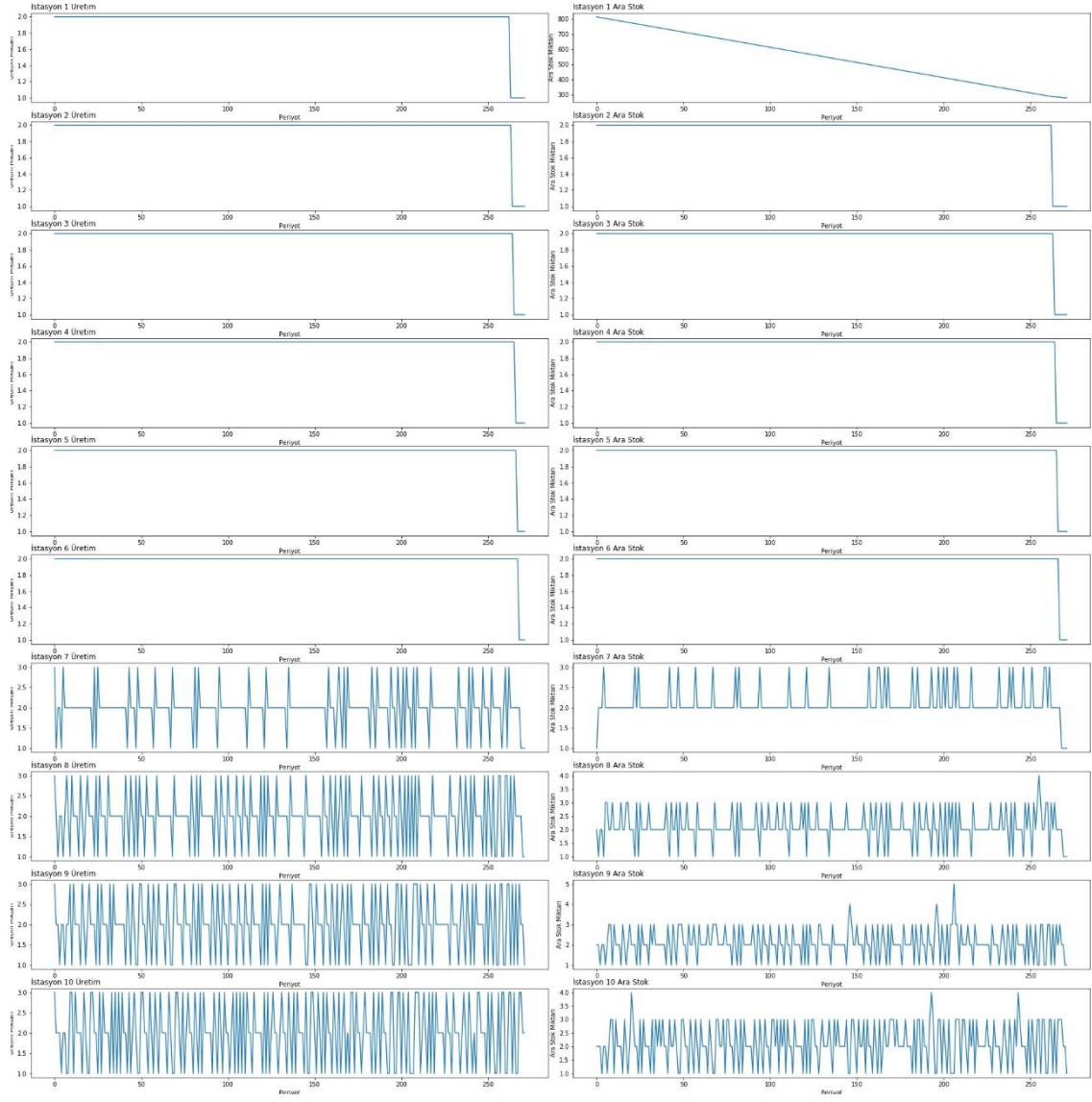
4.2.1. Senaryo 2 Matematiksel Model Analizi

Üç komponente (sağ, sol, alt) sahip olan Senaryo 2 toplamda 30 istasyondan oluşmaktadır ve model hattın fiziksel kapasitesine uygun olarak çalıştırılmıştır.

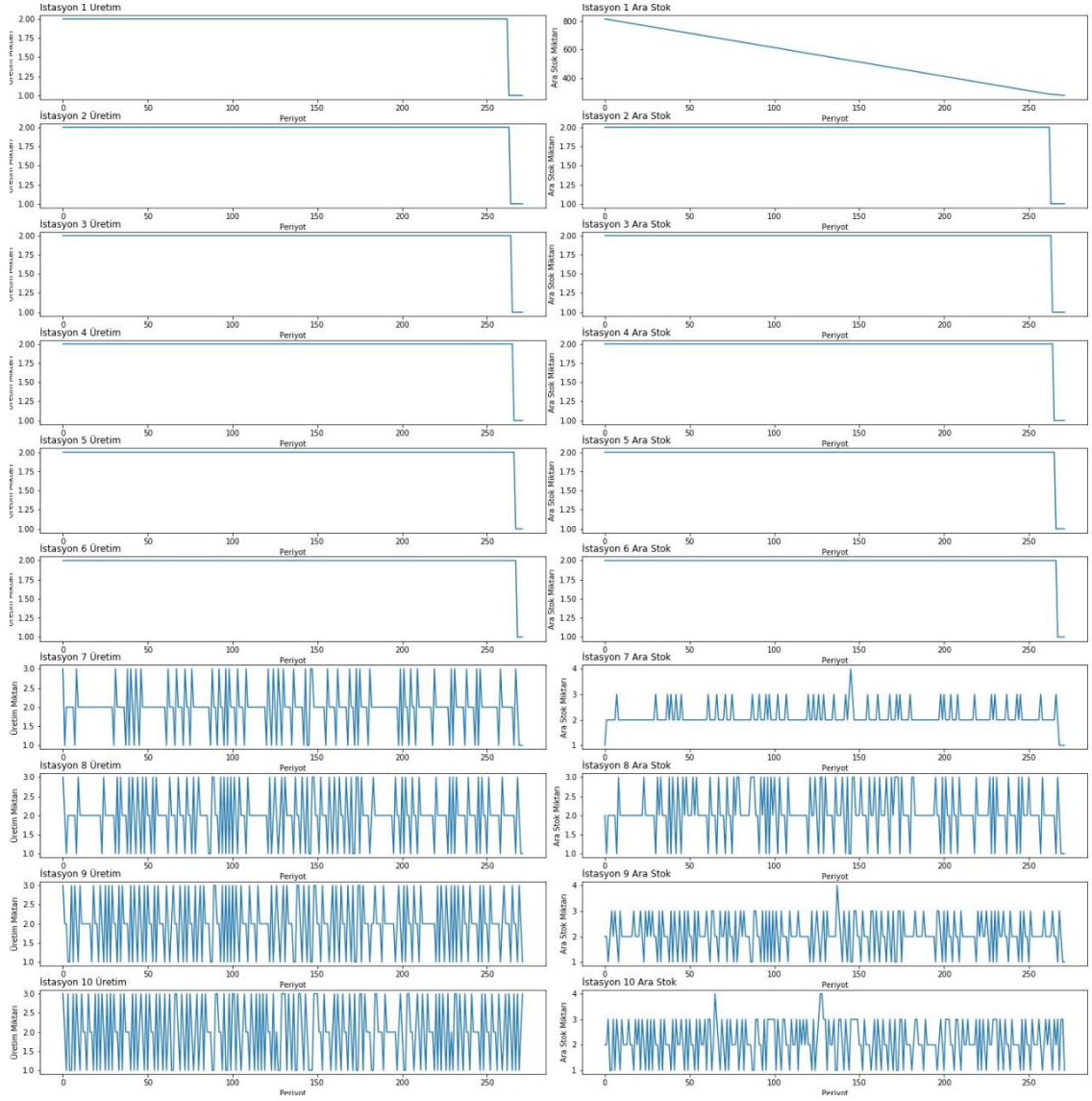
Şekil 4.11`de sol komponent için optimal üretim ve ara stok grafikleri yer almaktadır. İlk istasyon 264. periyota kadar maksimum kapasitesi olan günde 2 panelin üretimini yapmıştır. Aynı durum 2. istasyon için 265. periyoda kadar, 3. istasyon için 266. periyoda kadar, 4. istasyon için 267. periyoda kadar, 5. istasyon için 268. periyoda kadar ve 6. istasyon için 269. periyoda kadar sürmüştür. Son dört istasyon günde 3 komponente kadar üretim yapabilmektedir. Bu nedenle ara stoklar ve önceki istasyonların üretim miktarlarının etkilerinden dolayı daha dalgalı üretim ve dalgalı ara stok miktarları görölmektedir. Üretim ve ara stok grafiklerine bütün komponentler için bakıldığında başlangıç ara stokları, toplam istasyon miktarları ve üretim kapasiteleri eşit olduğundan benzer şablonlar verdiği sağ komponent için Şekil 4.12 ve alt komponent için Şekil 4.13`te görölmektedir.



Şekil 4.11 Senaryo 2 İçin Sol Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri



Şekil 4.12 Senaryo 2 İçin Sağ Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri



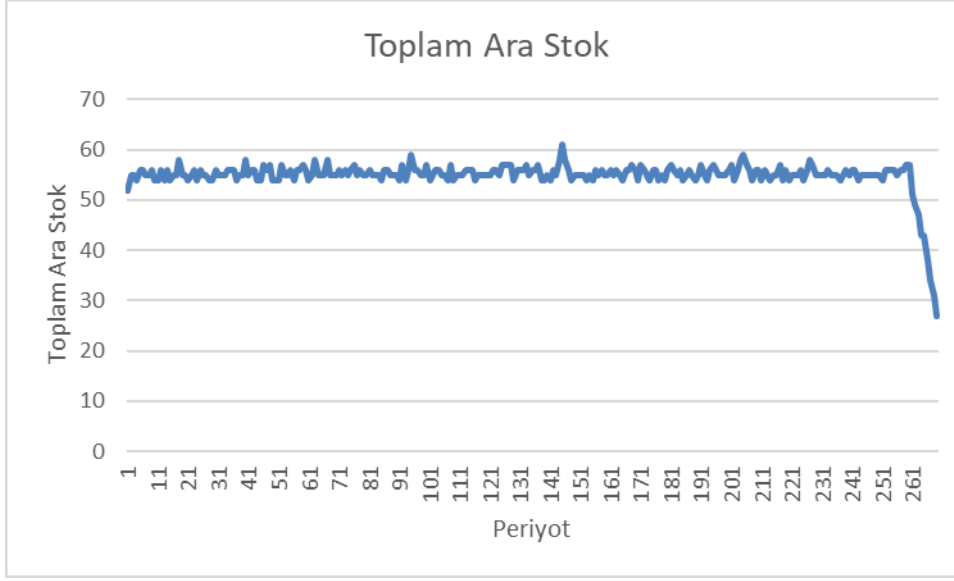
Şekil 4.13 Senaryo 2 İçin Alt Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri

Tablo 4.12`de matematiksel modelin sonuçlarında gösterildiği üzere istasyonların ara stok miktarına bakıldığında bütün istasyonların minimum 1 ara stok bulundurduğu kapasitesi 3 olan son istasyonlarda ara stokların ilk istasyonlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Üç komponentin ilk istasyonları ise başlangıç ara stok değerleri olan 2 komponenti periyotların çoğunda maksimum ara stok olarak tutmuşlardır.

Tablo 4.12 Senaryo 2 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri

İstasyon No	İstasyonun Maksimum Üretimi	İstasyonun Minimum Üretimi	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	İstasyonun Minimum Ara Stoğu
1	2	1	-	-
2	2	1	2	1
3	2	1	2	1
4	2	1	2	1
5	2	1	2	1
6	2	1	2	1
7	3	1	4	1
8	3	1	3	1
9	3	1	4	1
10	3	1	4	1
11	2	1	-	-
12	2	1	2	1
13	2	1	2	1
14	2	1	2	1
15	2	1	2	1
16	2	1	2	1
17	3	1	3	1
18	3	1	4	1
19	3	1	5	1
20	3	1	4	1
21	2	1	-	-
22	2	1	2	1
23	2	1	2	1
24	2	1	2	1
25	2	1	2	1
26	2	1	2	1
27	3	1	4	1
28	3	1	3	1
29	3	1	4	1
30	3	1	4	1

Şekil 4.14`te gösterilen ve matematiksel modelden elde edilen en iyi ara stok miktarları daha detaylı incelendiğinde modelin periyotların önemli bir kısmında 55,393 komponenti ortalama toplam ara stok olarak tuttuğu görülmektedir. Ayrıca son istasyonların, komponentlerin üretimini tamamlayabilmek ve üretimi maksimize edebilmek amacıyla son periyotlarda ara stokları hızlıca erittiği gözlemlenmektedir.



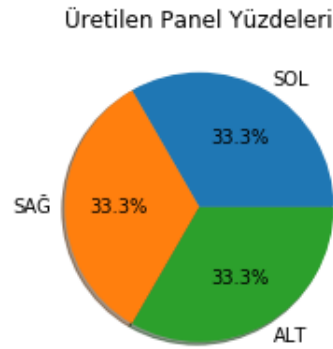
Şekil 4.14 Senaryo 2 İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Model yıl sonuna kadar toplamda 1632 komponent üretmiştir. Bu üretim miktarı müşterinin iletlediği hedef sayılar ile karşılaştırılırken modelin aylık verdiği en iyi toplam üretim miktarı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sonuçları Tablo 4.13`te verilmekte olup en iyi üretim miktarlarının ele alınan sistemle uyumlu stok miktarları verdiği gözlemlenmektedir. Bu sistemde yıl sonuna doğru stok tutulmakta ve bu durum müşteri tarafından desteklenmektedir. Yılın sonunda Senaryo 2 için gerçek müşteri hedefleri dikkate alındığında bütün komponentlerin toplamda 64 adet stok yaptığı görülmektedir. Temel modelde en iyi üretim miktarları elde edilirken modele müşteri hedefleri ile ilgili bir kısıt eklenmediği bilgisini hatırlatmakta fayda bulunmaktadır.

Tablo 4.13 Senaryo 2 İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri

Ay	Hedef Sayılar	Sol Üretim	Sağ Üretim	Alt Üretim	En İyi Toplam Üretim
1	40	48	48	48	144
2	40	44	43	43	130
3	40	50	50	51	151
4	40	40	41	39	120
5	40	46	46	46	138
6	40	37	38	38	113
7	40	45	43	45	133
8	40	47	48	48	143
9	40	47	47	45	139
10	40	45	46	47	138
11	40	49	48	47	144
12	40	46	46	47	139

Sol, sağ ve alt komponentler set halinde sevk edilmektedir. Bu nedenle periyotlar boyunca üretilen komponent miktarlarının birbirlerinden farklılaşmaması amacıyla komponentler arası farkı sınırlayan bir kısıt matematiksel modele eklenmiştir. Mevcut sistemdeki komponentler arasındaki farka bakılarak matematiksel modele eklenen kısıt ile bu farkın tüm üretim periyodu için maksimum $\epsilon_j = 5$ olması sağlanmıştır. Tüm planlama dönemi boyunca gerçekleşen üretim çıktısına bakıldığında komponentler için eşit miktarda üretim yapıldığı görülmektedir, oranlar Şekil 4.15`te verilmektedir. Komponentler için aylık üretimlere bakıldığında toplam üretim miktarı farklılıkları mevcuttur.



Şekil 4.15 Senaryo 2 için Planlama Döneminde Üretilen Toplam Panel Yüzdeleri

Müşteriden gelen aylık sevkiyat hedefleri üretimi boyunca komponent miktarlarında gerçekleşecek farklılaşmalara sınır getirilmesi amacıyla güncellenen ϵ_j kısıtı ile ilgili çıktılar yeniden incelenmiştir.

Durum 1

Modelin ele alınan bu uzantısında, aylık periyotlarda üretilen komponent miktarlarının birbirlerinden farklılaşmaması amacıyla komponentler arası farkı sınırlayan bir kısıt matematiksel modele eklenmiştir. Tablo 4.14`de gösterildiği üzere Durum 1 ile eklenen kısıt sonucunda modelin amaç fonksiyonu değeri değişmemiş olup komponentler arası aylık üretim farkları ayda 3 komponent ile sınırlandırılmıştır.

Tablo 4.14 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 3$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri

Ay	Hedef Sayılar	Sol Üretim	Sağ Üretim	Alt Üretim	En İyi Toplam Üretim
1	40	48	48	47	143
2	40	43	42	45	130
3	40	50	51	50	151
4	40	40	40	39	119
5	40	47	47	46	140
6	40	38	36	39	113
7	40	44	45	44	133
8	40	47	49	48	144
9	40	46	46	43	135
10	40	47	45	48	140
11	40	48	49	49	146
12	40	46	46	46	138

Tablo 4.15`te verildiği üzere $\epsilon_j = 1$ alındığında aylık periyotlarda komponentler arası fark 1 komponent ile sınırlandırılmıştır.

Tablo 4.15 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 1$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri

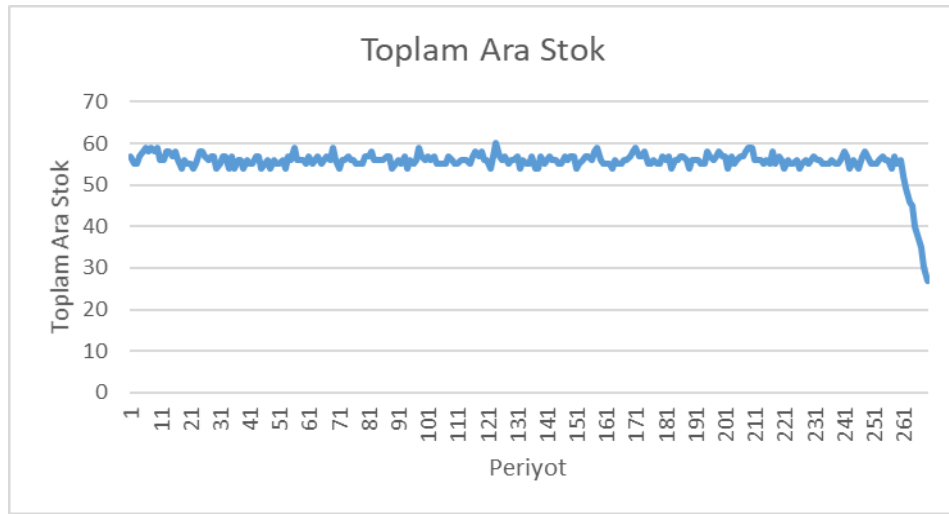
Ay	Hedef Sayılar	Sol Üretim	Sağ Üretim	Alt Üretim	En İyi Toplam Üretim
1	40	48	47	47	142
2	40	43	43	44	130
3	40	50	51	51	152
4	40	40	40	39	119
5	40	47	46	46	139
6	40	38	37	38	113
7	40	44	45	45	134
8	40	47	48	48	143
9	40	46	46	45	137
10	40	47	46	47	140
11	40	48	49	48	145
12	40	46	46	46	138

Tablo 4.16`da verildiği üzere $\epsilon_j = 0$ alındığında aylık periyotlarda komponentler eşit miktarlarda üretilmiştir.

Tablo 4.16 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 0$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri

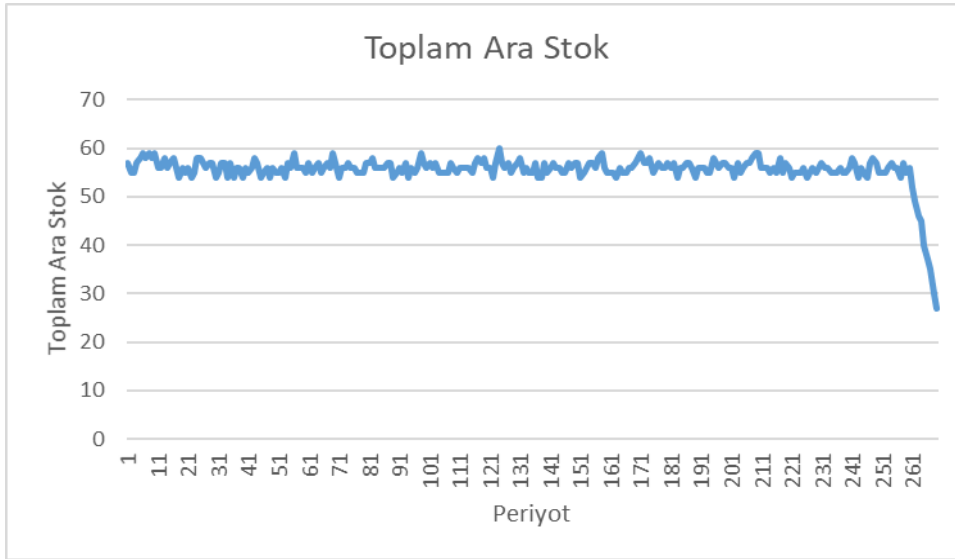
Ay	Hedef Sayılar	Sol Üretim	Sağ Üretim	Alt Üretim	En İyi Toplam Üretim
1	40	47	47	47	141
2	40	43	43	43	129
3	40	51	51	51	153
4	40	40	40	40	120
5	40	46	46	46	138
6	40	38	38	38	114
7	40	44	44	44	132
8	40	48	48	48	144
9	40	46	46	46	138
10	40	47	47	47	141
11	40	48	48	48	144
12	40	46	46	46	138

Şekil 4.16'da $\epsilon_j = 3$ kısıtı matematiksel modele eklendiğinde ortalama toplam ara stok 56,031 komponent olmuştur.



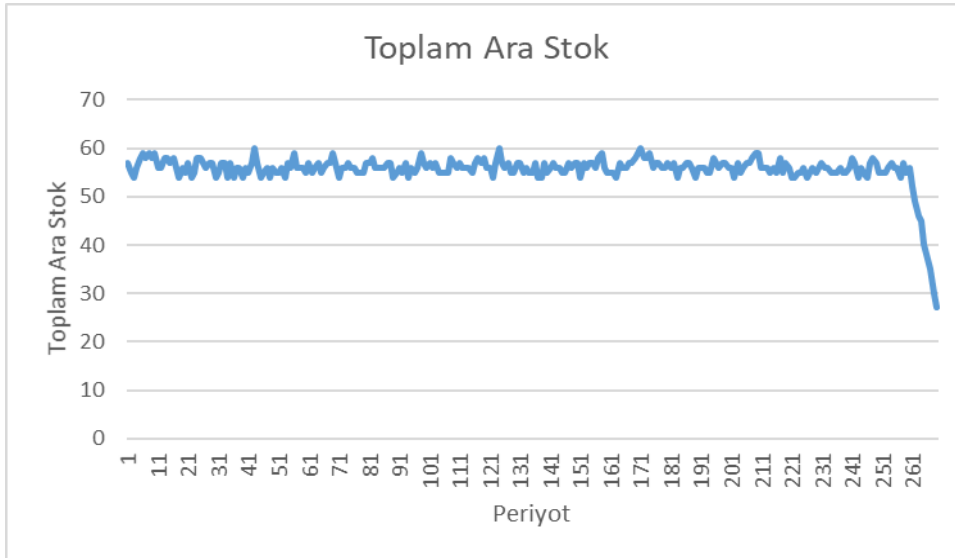
Şekil 4.16 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 3$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Şekil 4.17'de $\epsilon_j = 1$ kısıtı matematiksel modele eklendiğinde ortalama toplam ara stok 56,050 komponent olmuştur. $\epsilon_j = 3$ kısıtına göre ortalama toplam ara stokta çok küçük bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 1$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Şekil 4.18`de $\epsilon_j = 0$ kısıtı matematiksel modele eklendiğinde ortalama toplam ara stok 56,130 komponent olmuştur. En yüksek ortalama toplam ara stok miktarı $\epsilon_j = 0$ için gözlemlenmiştir.



Şekil 4.18 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 0$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Durum 2

Modelin ele alınan bu uzantısında, gerçek sistemin sahip olduğu ara stok miktarlarının etkisi altında olmadan modelin çıktısının incelenmesi amacıyla ara stok miktarları değiştirilerek parametrelerin etkisi incelenmektedir.

Tablo 4.17`de gösterildiği üzere, Üretim Sistemi 1-8 arasında kapasiteler temel modele eşit alınmıştır. Üretim Sistemi 1, 2 ve 3`te (Üretim Sistemi 9, 10 ve 11`e benzer şekilde) ara stok alanı azaldıkça ortalama ara stoğun öncelikle artıp sonra azaldığı

gözlemlenmektedir. Üretim Sistemi 4, 5 ve 6'da ilk istasyonların başlangıç ara stoğu 3'e çıktığından ortalama ara stok artmıştır. Üretim Sistemi 7 ve 8'de, Üretim Sistemi 12 ve 13'e benzer şekilde epsilon değeri azaldıkça öncelikle ortalama ara stok artmıştır ancak Üretim Sistemi 12 ve 13'te kapasiteler daha yüksek olduğundan ortalama ara stok daha yüksektir. Üretim Sistemi 15 ve 16'da ilk istasyonların başlangıç ara stoğu 2'den 3'e çıkmıştır ve ortalama ara stok değeri de artmıştır.

Tablo 4.17 Senaryo 2 Durum 2 İçin Farklı Parametreler ve Çıktıları

Üretim Sistemi	İlk İstasyonlar Kapasite	Son 4 İstasyon Kapasite	İlk İstasyonlar Başlangıç Ara Stoğu	Son 4 İstasyon Başlangıç Ara Stoğu	ϵ_j	Ara Stok Alanı	Ortalama Ara Stok (İlk 3 periyot hariç)	Stok	En İyi Toplam Üretim
1	1-2	1-3	2	3	5	20	54,944	68	1644
2	1-2	1-3	2	3	5	10	55,558	68	1644
3	1-2	1-3	2	3	5	5	55,461	68	1644
4	1-2	1-3	3	3	5	20	54,967	68	1644
5	1-2	1-3	3	3	5	10	55,602	68	1644
6	1-2	1-3	3	3	5	5	56,343	68	1644
7	1-2	1-3	2	3	3	20	54,941	68	1644
8	1-2	1-3	2	3	1	20	54,944	68	1644
9	1.5-2	2-3	2	3	5	20	55,000	68	1644
10	1.5-2	2-3	2	3	5	10	55,842	68	1644
11	1.5-2	2-3	2	3	5	5	55,727	68	1644
12	1.5-2	2-3	2	3	3	20	54,998	68	1644
13	1.5-2	2-3	2	3	1	20	55,000	68	1644
14	1.5-2	2-3	2	3	0	20	55,000	68	1644
15	2-3	2-3	2	3	5	20	80,301	331	2433
16	2-3	2-3	3	3	5	20	80,498	336	2448

4.2.1.1 Senaryo 2 için Hibrit Sistem Analizi

Senaryo 2 için oluşturulan hibrit sistemde ara stoklar mevcut sisteme uygun olarak alınmıştır ve model hattın fiziksel kapasitesine uygun olarak çalıştırılmıştır. Öncelikle hattı çekme mantığıyla çalıştırmak için hedef sayıların toplamı ay cinsinde aylık periyot sayısına bölünmüştür. Bu doğrultuda, hattın çekme mantığıyla çalışabilmesi için günde/periyotta 1,765 komponent üretmesi gerekmektedir. Çekme sistemi ile üretim yapıldığında üretim tamamen müşteri siparişlerine göre yapıldığından planlama dönemi sonunda oldukça düşük bir stok tutulmuştur. Sonuçlar Tablo 4.18'de gösterilmektedir.

Üretim Sistemi 6 itme üretim sistemini, tam kapasite ile üretim yapılan durumu göstermektedir. Bu durumda yıl sonunda/periyotların sonunda 65 stok gözlemlenmiştir. Ortalama 81 komponent üretim alanında toplam ara stok olarak tutulmuştur. Üretim sistemlerinin uygun sonuç vermesi için başlangıç ara stoğu en az kapasite kadar olmalıdır. Üretim Sistemi 8 ve 9 hibrit üretim sistemini temsil etmektedir. Model ilk istasyonların itme, son istasyonların çekme ile üretim yaptığı durum için uygun sonuç vermemiştir. Üretim Sistemi 8`de ilk istasyonlar çekme ile son istasyonlar itme ile üretim yapmıştır. Bu durumun sonucunda yıl sonunda 1,315 stok gözlemlenmiştir. Üretim Sistemi 10`da ilk istasyonlar çekme ile üretim yaparken son istasyonların kapasitesi günde 2 komponent alınmıştır, bu durumda da yıl sonunda 4,315 stok gözlemlenmiştir. Üretim Sistemi 12, 13, 14 ve 15`te bütün istasyonların kapasitesi 2,200 komponent olarak sabit alınıp ara stok alanı parametresinin değeri değiştirilmiştir. Ara stok alanı azaldıkça sistemdeki ortalama ara stok miktarı düşmüştür. Üretim Sistemi 14`te ise ara stok alanı sabit kapasite değeri 2,200`den küçük olduğu için beklenildiği gibi uygun sonuç elde edilmemiştir.

Tablo 4.18 Senaryo 2 İçin Hibrit Sistem Kapasite ve Çıktıları

Üretim Sistemi	İlk İstasyonlar Kapasite	Son 4 İstasyon Kapasite	Üretim Sistemi Tipi	Ara Stok Alanı	Ortalama Ara Stok (İlk 3 periyot hariç)	Stok	En İyi Toplam Üretim
1	1,765	1,765	Çekme	20	54,000	0,080	1440,240
2	1,800	1,800		20	54,000	9,600	1468,800
3	1,800	1,800		10	54,000	9,600	1468,800
4	1,800	1,800		15	54,000	9,600	1468,800
5	1,800	1,800		5	54,000	9,600	1468,800
6	2,000	3,000	İtme	20	81,000	65,000	1635,000
7	2,000	2,500		10	74,800	66,500	1639,500
8	1,765	3,000	Hibrit	20	80,986	1,315	1443,945
9	2,000	1,765	Hibrit	20			
10	1,765	2,000		20	69,237	4,315	1452,945
11	1,900	1,900		20	54,000	36,800	1550,400
12	2,200	2,200		10	81,000	118,400	1795,200
13	2,200	2,200		5	59,400	118,400	1795,200
14	2,200	2,200		2			
15	2,200	2,200		2,2	59,400	118,400	1795,200

4.2.2. Senaryo 2 Simülasyon Analizi

Oluşturulan matematiksel modelin çıktıları ve mevcut ara stoklar göz önünde bulundurularak modelin verdiği üretim miktarını ifade eden $U_{i,t}$ miktarları farklı d değişiklik katsayıları ile üretimdeki insan, malzeme gibi faktörlerin etkisi temsiliyle saptırılarak üretim sistemi çıktıları yeniden incelenmiştir.

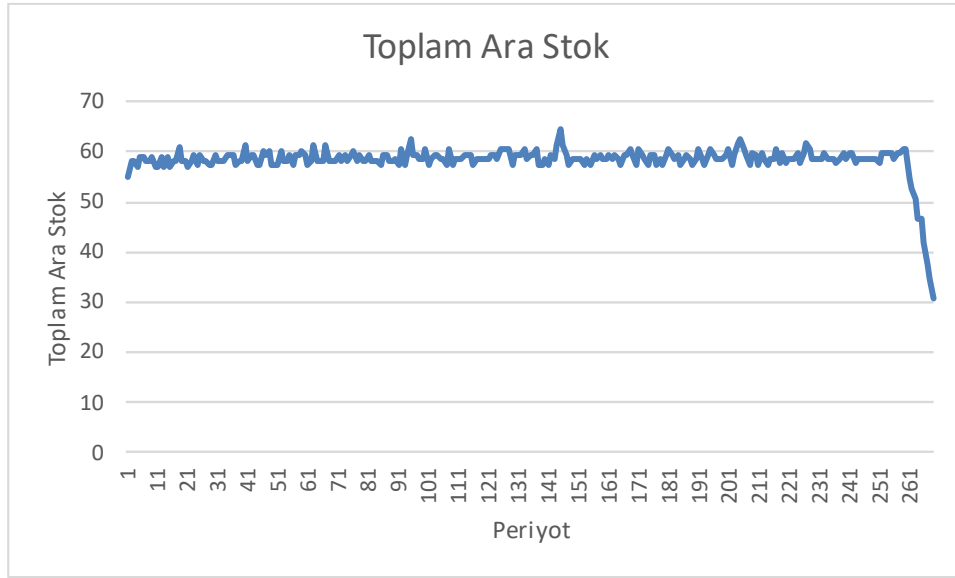
Oluşturulan simülasyon modeli 100 iterasyonda çalıştırılmış olup simülasyon mevcut üretimin ara stokları ile başlatılmıştır. Tablo 4.19`da istasyonlar için maksimum-minimum üretim ve ara stok miktarları yer almaktadır.

Tablo 4.19 Senaryo 2 Simülasyonu Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri ($d = 0,01$)

İstasyon No	İstasyonun Maksimum Üretimi	İstasyonun Minimum Üretimi	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	İstasyonun Minimum Ara Stoğu
1	2,010	0,995	-	-
2	2,010	0,992	2,109	1,050
3	2,010	0,991	2,113	1,019
4	2,010	0,995	2,175	1,067
5	2,010	0,998	2,103	1,037
6	2,010	0,995	2,069	1,059
7	3,008	0,990	4,877	1,672
8	3,010	0,990	3,158	1,006
9	3,010	0,989	4,032	0,995
10	3,010	0,990	4,035	0,994
11	2,010	0,993	-	-
12	2,010	0,990	2,064	1,031
13	2,010	0,991	2,083	1,003
14	2,010	0,988	2,129	0,997
15	2,010	0,990	2,082	0,990
16	2,010	0,995	2,081	1,019
17	3,010	0,991	4,032	1,828
18	3,010	0,990	4,054	0,995
19	3,010	0,990	5,038	0,992
20	3,010	0,986	4,030	0,992
21	2,010	0,990	-	-
22	2,010	0,991	2,145	0,992
23	2,010	0,994	2,165	1,095
24	2,010	0,998	2,087	1,020
25	2,010	0,996	2,197	1,125
26	2,010	0,992	2,084	1,051
27	3,009	0,991	4,775	1,663
28	3,010	0,991	3,106	1,001
29	3,010	0,988	4,033	0,995
30	3,010	0,986	4,065	0,993

Tablo 4.19`da gösterildiği üzere ara istasyonlarda maksimum ortalama 2 komponent ara stok tutulduğu gözlemlenmekte olup son istasyonlarda 3-5 komponent aralığında, ilk istasyonlara göre daha fazla ara stok tutulmaktadır.

Matematiksel modelde ortalama toplam ara stok 58,837 komponent civarında bir süre sabit gözlemlenmekte iken simülasyon için Şekil 4.19`da ara stok miktarlarına bakıldığında ortalama toplam ara stoğun 58,737 komponent civarında bir süre sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Matematiksel modelin çıktılarına bakıldığında eklenen değişkenlik matematiksel modele göre daha az üretim yapılmasına neden olmuştur. Matematiksel modelde en iyi toplam üretim 1632,000 iken simülasyonda 100 iterasyonda ortalama 1628,317 komponent çıktı verilmiştir.



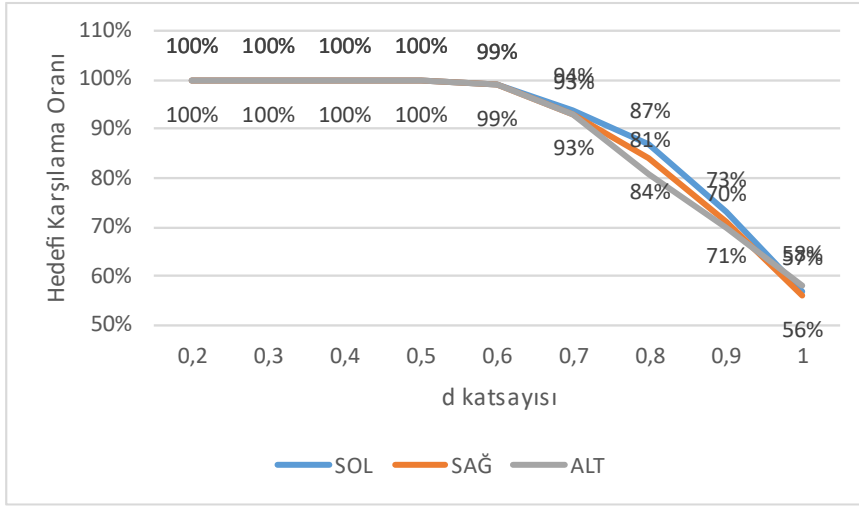
Şekil 4.19 Senaryo 2 Simülasyonu Toplam Ara Stok Miktarları

4.2.3 Senaryo 2 için Değişiklik Katsayısı Sevkiyatı Karşılama Analizi

Simülasyon modelinde istasyonun önündeki ara stok miktarı ile gerçekleştirilecek üretim miktarı $\pm d$ değişiklik katsayısı ile değiştirilerek 100 iterasyon için yeni üretim ve istasyonların sahip olduğu ara stok miktarları incelenmiştir. Yılın başındaki stoklar Senaryo 2`nin gerçekte sahip olduğu fiziki stoklar ile aynı miktarda alınmıştır.

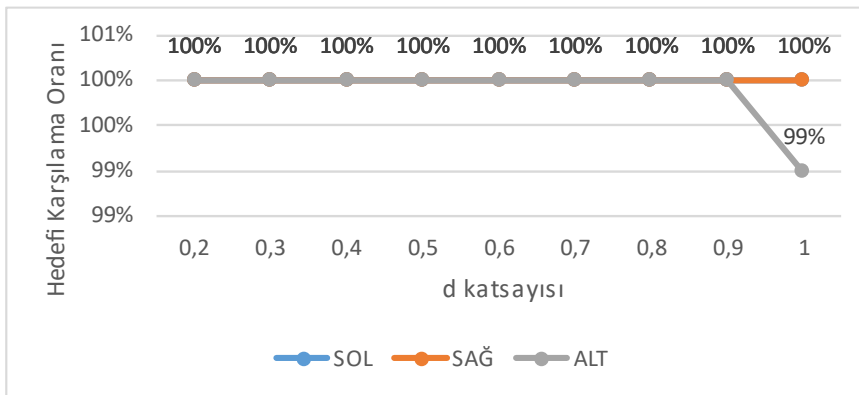
Öncelikle yılın başındaki bitmiş ürün stokları hesaba katılmadan değişiklik katsayısı kullanılarak kurulan simülasyon modeli ile sevkiyat hedeflerinin karşılanma olasılığı hesaplanmıştır. Önerilen simülasyon modelinde d parametresinin değeri arttıkça sevkiyat hedefini karşılama olasılığı azalmaktadır, ayrıca d parametresinin artması

komponentlerin üretim miktarındaki farklılıkların artmasına da neden olmuştur. Bu nedenle komponentler için %100 ve %56 aralığında farklı sevkiyatı karşılama olasılıkları gözlemlenmiştir. Değişiklik parametresi ile matematiksel modelin çıktısından elde edilen üretim miktarından yapılacak sapma miktarı belirlendiği için parametre değerinin artması, hedef üretimden yapılan sapmanın arttığı anlamına gelmekte olup Şekil 4.20`de gözlemlenen hedefi karşılama olasılığının azalması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.20 Senaryo 2 İçin d Katsayısına Göre Hedefi Karşılama Oranı

Yılın başında mevcut olan stoklar ile simülasyon modeli 100 itearsyonda yeniden incelendiğinde sol, sağ ve alt komponentler için sevkiyatı karşılama oranı d katsayısının $[0,2 - 1]$ aralığındaki değerleri için çoğunlukla %100 olmuştur. Alt komponent için diğer komponentlerden farklı olarak d katsayısının 1 değeri için sevkiyatı karşılama oranı %99 olmuştur, Şekil 4.21`de gösterilmektedir.



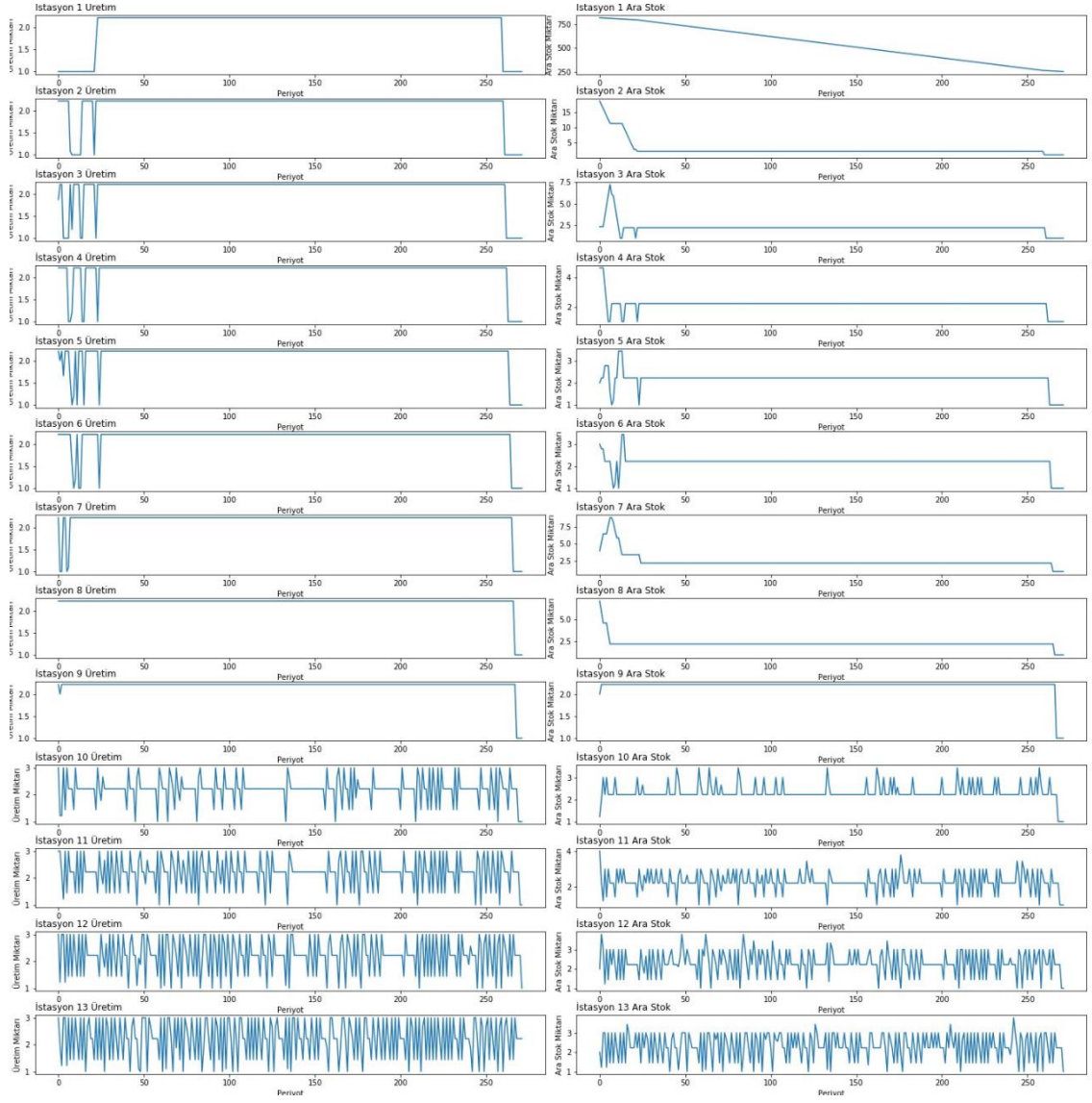
Şekil 4.21 Senaryo 2 İçin d Katsayısına Göre Komponentlerin Yılın Başındaki Stoklar ile Hedefi Karşılama Oranı

4.3. Senaryo 3 Analizi

4.3.1. Senaryo 3 Matematiksel Model Analizi

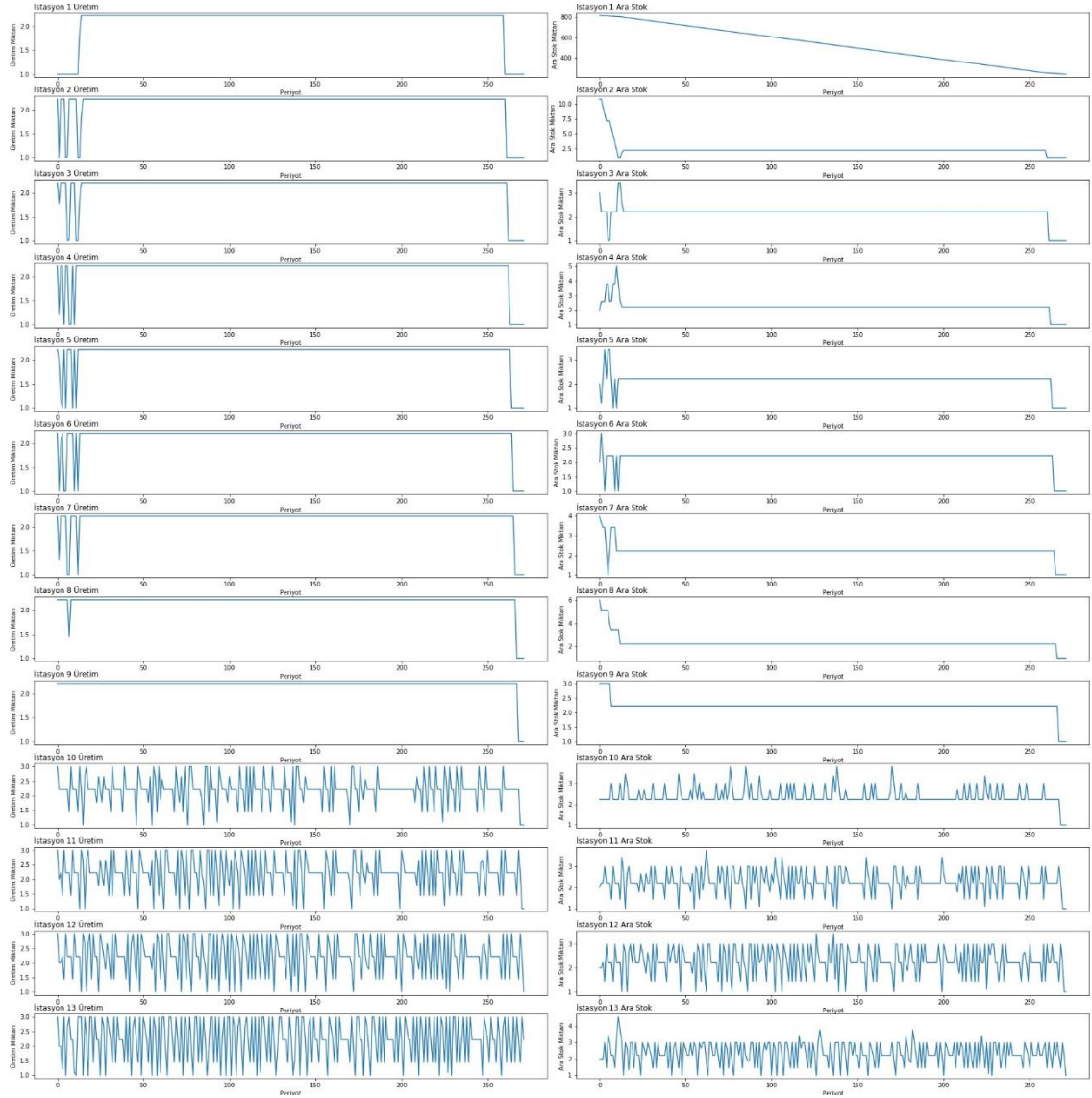
Üç komponent (sağ, sol, alt) ve 35 istasyona sahip olan Senaryo 3 için oluşturulan matematiksel modelde ara stoklar gerçek sisteme uygun olarak alınmıştır ve model hattın fiziksel kapasitesine uygun olarak çalıştırılmıştır.

Şekil 4.22`de sol komponent için ilk istasyonun üretimine bakıldığında ilk 22 periyot boyunca 1 komponent üretim yapılmış sonrasında 260. periyoda kadar 2,22 maksimum kapasite ile üretime devam edilmiş, devamında son periyoda kadar her periyotta 1 komponent üretim yapılmıştır. İkinci istasyon ise 20 ara stok ile üretime başlayıp 8. ve 14. periyotlar arasında yaptığı 1,08 ve 1 komponent olan üretimler ile ara stok miktarını düşürmüştür. 23. Planlama dönemi sonunda 2. istasyonun ara stok miktarı 2,22`ye düşmüştür ve model 261. periyodun sonuna kadar 2,22 komponent üretim yapmıştır. 1.İstasyonun da üretiminin 261. periyotta 1 komponente düşmesinden dolayı 2. istasyon da devamındaki periyotlarda 1 komponent üretim yapıp 1 komponent ara stok tutmuştur. Başlangıç ara stoğu 5 komponent olan 3. istasyon da 12. planlama dönemi sonunda ara stoğunu 2,22`ye düşürmüş sonrasında ara stok miktarı olan 2,22 komponent üretimle 263. periyotta 2. istasyonun üretim miktarının düşüşünden etkilenene kadar devam etmiştir. 4. İstasyon için de başlangıç ara stoğunun eritilmesine kadar 1-2,22 değerleri arasında değişken üretim ve 264. periyotta 3. istasyonun düşük üretiminden etkilenene kadar 2,22 komponent üretim yaptığı görülmektedir. Benzer üretim miktarları 5, 6 ve 7. istasyonlar için de görülmüştür. 8. İstasyon ilk istasyonlardan farklı, 9. istasyona benzer olarak 7 ara stok ile üretimi başlamış ve uzun süre periyotta 2,22 komponent üretim yaparak 7. planlama dönemi sonunda ara stoğunu 2,22`ye sabitleyip 7. istasyonun 267. periyottaki düşük üretiminden etkilenene kadar aynı miktarda üretimle devam etmiştir. 10, 11, 12 ve 13. İstasyonların üretim kapasitesi günde 3 komponent olduğundan ve başlangıç ara stokları 2 olduğundan bir önceki istasyonun üretiminin etkisiyle minimum ve maksimum üretim kapasitesi olan 1-3 komponent değerleri arasında dalgalanmalar ile üretim yapmıştır. Genel olarak bu istasyonların periyotlardaki üretim miktarlarının ara stok miktarlarına eşit olduğu görülmüştür.



Şekil 4.22 Senaryo 3 İçin Sol Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri

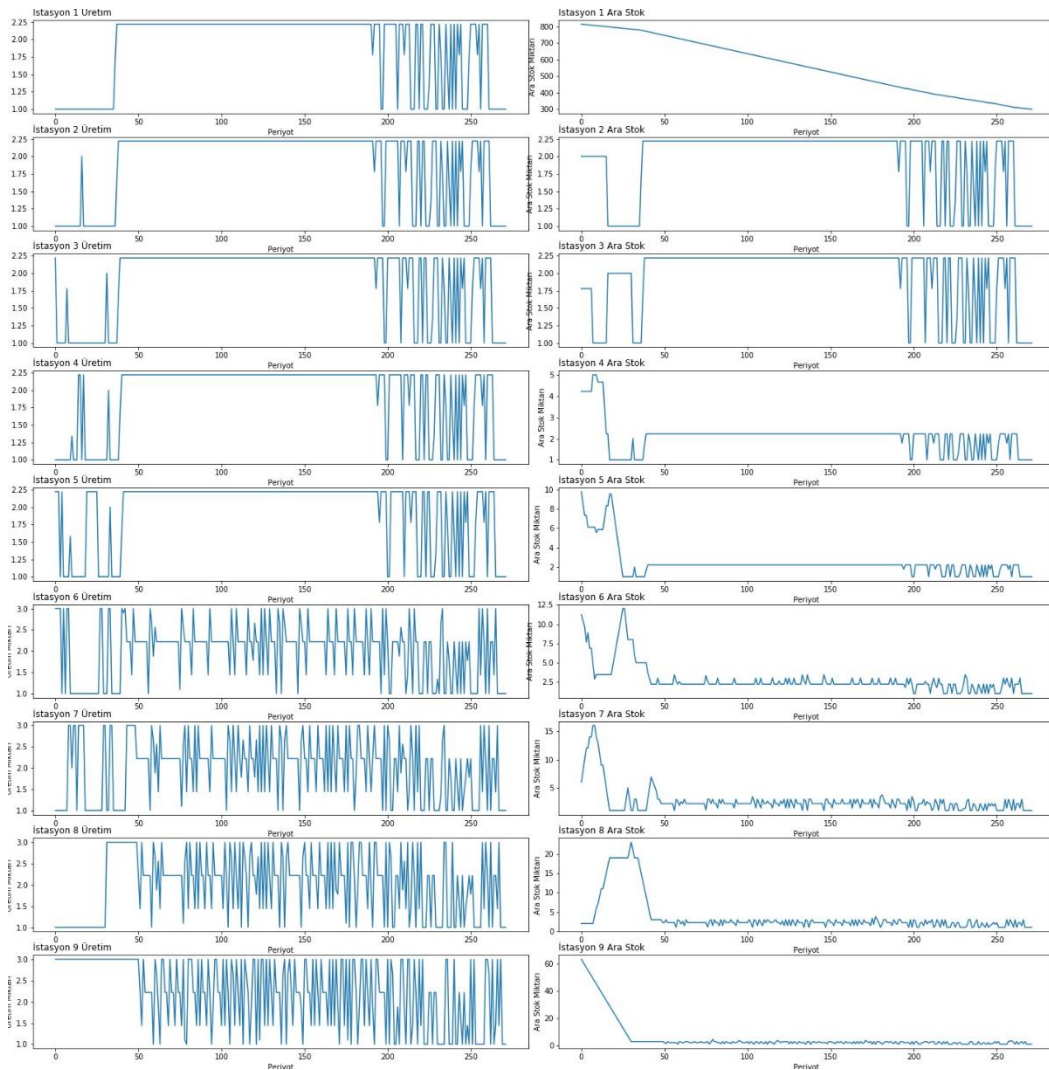
Şekil 4.23`de çıktıları verilmekte olan sağ komponenti temsil eden 14-26. istasyonlar için de sol komponente oldukça benzeyen 2 ve 7. istasyonlar arasında önceki istasyonun üretim miktarı etkisiyle planlama döneminin başında ve sonunda dalgalı üretim, 8 ve 9. istasyonlarda yine sol komponentle benzer şekilde daha dengeli üretim görülmüştür. Sağ komponent için 3 kapasiteli olan 23-26. istasyonlar aralığında sol komponente benzer şekilde daha dalgalı ve ara stoğa eşit üretim miktarları elde edilmiştir.



Şekil 4.23 Senaryo 3 İçin Sağ Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri

Şekil 4.24`te verilmekte olan alt komponentin üretim ve ara stok değerlerine bakıldığında sağ ve sol komponent arasında olan benzerlik görülmemiştir. Bu farklılıkların nedenleri istasyonların ara stok miktarlarının farklı olması ve alt komponentin daha az istasyona sahip olması olarak düşünülebilir. Alt komponentin ilk istasyonu olan 27. istasyon 37. periyoda kadar 1 üretim yapmıştır. Sonrasında 211-262. periyotlar arasında 1 ve 2,22 komponent arasında üretim dalgalanmıştır. 263. Periyottan itibaren sağ ve sol komponente benzer olarak 27. istasyon günde 1 komponent ile üretimine devam etmiştir. 28. İstasyon da önündeki istasyona benzer bir şekilde planlama dönemine günde 1 komponent üreterek başlamıştır. 28. İstasyonun ara stoğu başlangıçta sahip olduğu 2 komponentten 1`e düşünce bir süre daha ara stok kadar üretim yapmaya devam etmiştir. 28. İstasyon, önündeki 27. istasyonun 38. periyotta günde 2,22 komponent üretime

başlamasıyla ara stok miktarı artınca 208. periyotta ilk istasyonun üretim dalgalanmalarından etkileninceye kadar sabit üretimine devam etmiştir. Sonrasında önceki istasyonla benzer olarak 1 komponent üretimle son periyotlarda üretim yapmıştır. İlerleyen istasyonlarda da ilk periyotlarda üretim dalgalanması sonrasında ara stok miktarının düşüşüyle 210. periyotlar civarına kadar ara stok kadar üretim yapmış ve sonrasında önceki istasyonun üretimindeki düşüşün etkisi gözlemlenmiştir. 32. İstasyondan itibaren 3'e çıkan maksimum kapasite ile üretime dalgalanmalar ile başlanmış 50. periyottan itibaren ara stoğun 2,22'ye düşmesiyle ve öndeki istasyonların etkisiyle üretimde dalgalanmalar da gözlemlenerek 247. periyoda kadar genellikle 2,22 komponent üretim yapılmıştır. 34. İstasyon dahil son istasyonlar günde 3 komponent üretim kapasitesine sahip olduğundan son 4 istasyonda benzer üretim miktarları gözlemlenmiştir. Son 4 istasyonun önünde farklı miktarlarda ara stok bulunduğundan üretim miktarındaki gibi benzer dalgalanmalar ara stokta gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.24 Senaryo 3 İçin Alt Komponent Optimal Üretim ve Ara Stok Değerleri

Tablo 4.20`de verilen matematiksel modelin sonuçlarında görülebileceği gibi istasyonların ara stok miktarına bakıldığında bütün istasyonların minimum 1 ara stok bulundurduğu, kapasitesi 3 olan istasyonlarda ara stokların alt komponent hariç maksimum 4,560 olduğu ve ilk istasyonlardan daha az olduğu görülmüştür. Modelin her periyotta minimum 1 komponent üretmesi sağlanmıştır. Tablo 4.21`de verildiği üzere maksimum ara stokları yüksek olan istasyonların başlangıç ara stok parametrelerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 2. İstasyon üretim başlangıcında 20 ara stok ile başlayıp 272. periyodun sonunda 18,780 komponent ara stoğa sahip olmuştur.

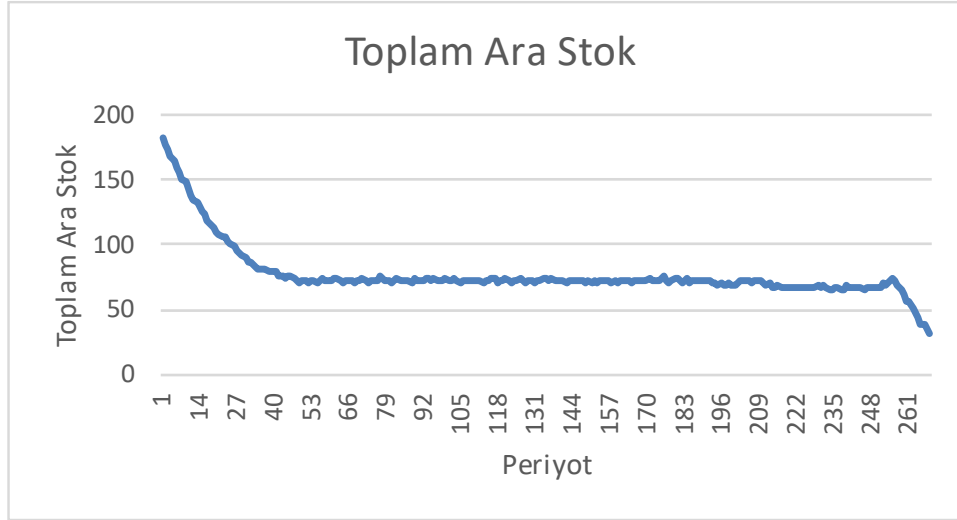
Tablo 4.20 Senaryo 3 İçin Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri

İstasyon No	İstasyonun Maksimum Üretimi	İstasyonun Minimum Üretimi	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	İstasyonun Minimum Ara Stoğu
1	2,220	1,000	-	-
2	2,220	1,000	18,780	1,000
3	2,220	1,000	7,220	1,000
4	2,220	1,000	4,660	1,000
5	2,220	1,000	3,440	1,000
6	2,220	1,000	3,440	1,000
7	2,220	1,000	8,780	1,000
8	2,220	1,000	7,000	1,000
9	2,220	1,000	2,220	1,000
10	3,000	1,000	3,440	1,000
11	3,000	1,000	4,000	1,000
12	3,000	1,000	3,780	1,000
13	3,000	1,000	3,780	1,000
14	2,220	1,000	-	-
15	2,220	1,000	10,780	1,000
16	2,220	1,000	3,440	1,000
17	2,220	1,000	5,040	1,000
18	2,220	1,000	3,440	1,000
19	2,220	1,000	3,000	1,000
20	2,220	1,000	4,000	1,000
21	2,220	1,000	6,000	1,000
22	2,220	1,000	3,000	1,000
23	3,000	1,000	3,780	1,000
24	3,000	1,000	3,780	1,000
25	3,000	1,000	3,440	1,000
26	3,000	1,000	4,560	1,000
27	2,220	1,000	-	-
28	2,220	1,000	2,220	1,000
29	2,220	1,000	2,220	1,000
30	2,220	1,000	5,000	1,000
31	2,220	1,000	9,780	1,000
32	3,000	1,000	12,000	1,000
33	3,000	1,000	16,000	1,000
34	3,000	1,000	23,000	1,000
35	3,000	1,000	63,000	1,000

Tablo 4.21 Senaryo 3 İçin Maksimum Ara Stok ve Başlangıç Ara Stok İlişkisi

İstasyon No	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	Başlangıç Ara Stoklar
1	-	-
2	18,780	20
3	7,220	2
4	4,660	5
5	3,440	2
6	3,440	3
7	8,780	4
8	7,000	7
9	2,220	2
10	3,440	2
11	4,000	4
12	3,780	2
13	3,780	2
14	-	-
15	10,780	12
16	3,440	3
17	5,040	2
18	3,440	2
19	3,000	2
20	4,000	4
21	6,000	6
22	3,000	3
23	3,780	3
24	3,780	2
25	3,440	2
26	4,560	2
27	-	-
28	2,220	2
29	2,220	3
30	5,000	3
31	9,780	11
32	12,000	12
33	16,000	4
34	23,000	2
35	63,000	65

Şekil 4.25`te matematiksel modelin çıktıları daha detaylı incelendiğinde modelin periyotların önemli bir kısmında ortalama toplam ara stok olarak 78,055 komponenti tuttuğu görülmektedir. Senaryo 2`ye göre daha çok istasyona ve başlangıç ara stoğuna sahip olan Senaryo 3 için ara stok miktarları da periyotlar boyunca daha çok gözlemlenmiştir.



Şekil 4.25 Senaryo 3 İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Model yıl sonuna kadar toplamda 1817,660 komponent üretmiştir. Bu üretim miktarı müşterinin ilettiği hedef sayılar ile karşılaştırılırken modelin aylık verdiği en iyi toplam üretim miktarı ile karşılaştırılmıştır.

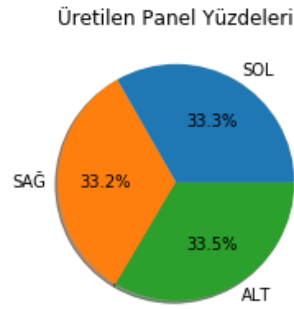
Tablo 4.22 Senaryo 3 İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri

Ay	Hedef Sayılar	Sol Üretim	Sağ Üretim	Alt Üretim	En İyi Toplam Üretim
1	36	53,400	53,400	72,000	178,800
2	45	49,620	48,840	66,000	164,460
3	30	55,500	55,500	59,400	170,400
4	39	44,400	44,400	44,400	133,200
5	54	51,060	51,060	49,840	151,960
6	54	41,400	42,180	43,400	126,980
7	30	49,620	48,840	48,060	146,520
8	27	51,720	52,060	52,500	156,280
9	45	52,620	51,060	50,960	154,640
10	51	50,280	52,280	44,520	147,080
11	51	54,060	52,840	38,340	145,240
12	33	51,060	51,500	39,540	142,100

Karşılaştırmanın sonuçları Tablo 4.22`de verilmekte olup en iyi üretim miktarlarının ele alınan sistem ile uyumlu stok miktarları verdiği gözlemlenmektedir.

Bu sistemde yıl sonuna doğru stok tutulmakta ve bu durum müşteri tarafından da desteklenmektedir. Senaryo 3 için gerçek müşteri hedefleri dikkate alındığında 108,96 set komponent stok yaptığı görülmektedir. Temel modelde en iyi üretim miktarları elde edilirken modele müşteri hedefleri ile ilgili bir kısıt eklenmediği bilgisini hatırlatmakta fayda bulunmaktadır.

Sol, sağ ve alt komponentler set halinde sevk edilmektedir. Bu nedenle periyotlar boyunca üretilen komponent miktarlarının birbirlerinden farklılaşmaması amacıyla komponentler arası farkı sınırlayan bir kısıt matematiksel modele eklenmiştir. Mevcut sistemdeki komponentler arasındaki farka bakılarak matematiksel modele eklenen kısıt ile bu farkın tüm üretim periyodu için maksimum $\epsilon_j = 5$ olması sağlanmıştır. Alt panelin üretim miktarlarına bakıldığında ilk aylarda diğer komponentlere oranla daha fazla üretildiği ve sonraki aylarda üretim miktarının düştüğü görülmektedir. Planlama dönemi sonundaki üretim çıktısına bakıldığında Senaryo 2`deki gibi komponentler yaklaşık olarak eşit miktarda üretilmiştir, oranlar Şekil 4.26`da verilmektedir.



Şekil 4.26 Senaryo 3 İçin Planlama Döneminde Üretilen Toplam Panel Yüzdeleri

Müşteriden gelen aylık sevkiyat hedefleri üretimi boyunca komponent miktarlarında gerçekleşecek farklılaşmalara sınır getirilmesi amacıyla güncellenen ϵ_j kısıtı ile ilgili çıktılar yeniden incelenmiştir.

Durum 1

Modelin ele alınan bu uzantısında, aylık periyotlar boyunca üretilen komponent miktarlarının birbirlerinden farklılaşmaması amacıyla komponentler arası farkı sınırlayan

bir kısıt matematiksel modele eklenmiştir. Tablo 4.23`te gösterildiği üzere Durum 1 ile eklenen kısıt sonucunda modelin amaç fonksiyonu değeri değişmiş olup komponentler arası aylık üretim farkları ayda 3 komponent ile sınırlandırılmıştır.

Tablo 4.23`te görüldüğü üzere temel modele göre daha yüksek amaç fonksiyonu değeri (1848,660 komponent) elde edilmiştir.

Tablo 4.23 Senaryo 3 Durum 1 $\epsilon_j = 3$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri

Ay	Hedef Sayılar	Sol Üretim	Sağ Üretim	Alt Üretim	En İyi Toplam Üretim
1	36	53,400	53,400	56,400	163,200
2	45	48,840	48,840	51,840	149,520
3	30	55,500	55,500	58,500	169,500
4	39	44,400	44,400	47,400	136,200
5	54	51,060	51,060	54,060	156,180
6	54	42,180	42,180	45,180	129,540
7	30	48,840	48,840	51,840	149,520
8	27	53,280	53,280	56,280	162,840
9	45	51,840	51,060	54,060	156,960
10	51	51,060	51,060	54,060	156,180
11	51	53,280	53,280	56,280	162,840
12	33	51,060	51,060	54,060	156,180

Tablo 4.24`te görüldüğü üzere temel modele göre daha yüksek, $\epsilon_j = 3$ kısıtlı modele göre daha düşük amaç fonksiyonu değeri (1824,660 komponent) elde edilmiştir.

Tablo 4.24 Senaryo 3 Durum 1 $\epsilon_j = 1$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri

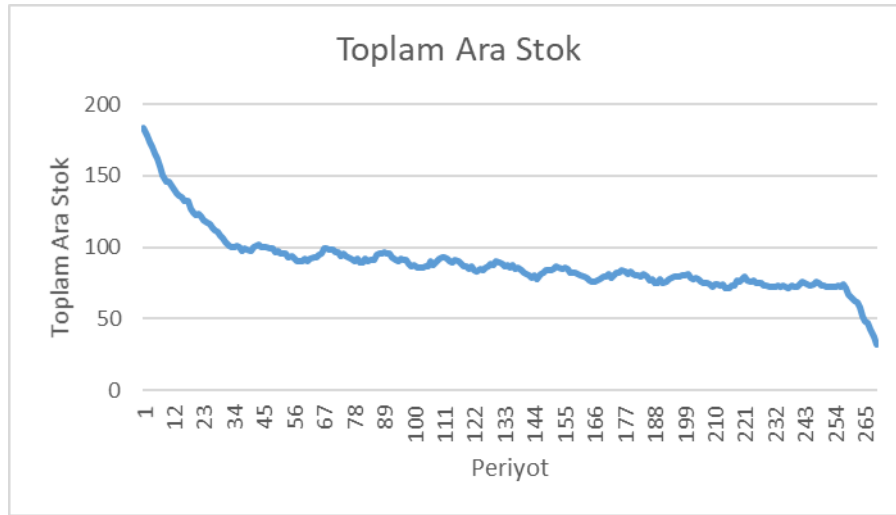
Ay	Hedef Sayılar	Sol Üretim	Sağ Üretim	Alt Üretim	En İyi Toplam Üretim
1	36	53,400	53,400	54,400	161,200
2	45	48,840	48,840	49,840	147,520
3	30	55,500	55,500	56,500	167,500
4	39	44,400	44,400	45,400	134,200
5	54	51,060	51,060	52,060	154,180
6	54	42,180	42,180	43,180	127,540
7	30	48,840	48,840	49,840	147,520
8	27	53,280	53,280	54,280	160,840
9	45	51,840	51,060	52,060	154,960
10	51	50,620	50,620	51,620	152,860
11	51	53,720	53,720	54,720	162,160
12	33	51,060	51,060	52,060	154,180

Tablo 4.25`te görüldüğü üzere temel modele ve daha yüksek ϵ_j değerine sahip modellere göre daha yüksek amaç fonksiyonu değeri (1811,880 komponent) elde edilmiştir.

Tablo 4.25 Senaryo 3 Durum 1 $\epsilon_j = 0$ İçin Hedef Sayılar ve Amaç Fonksiyonu Değerleri

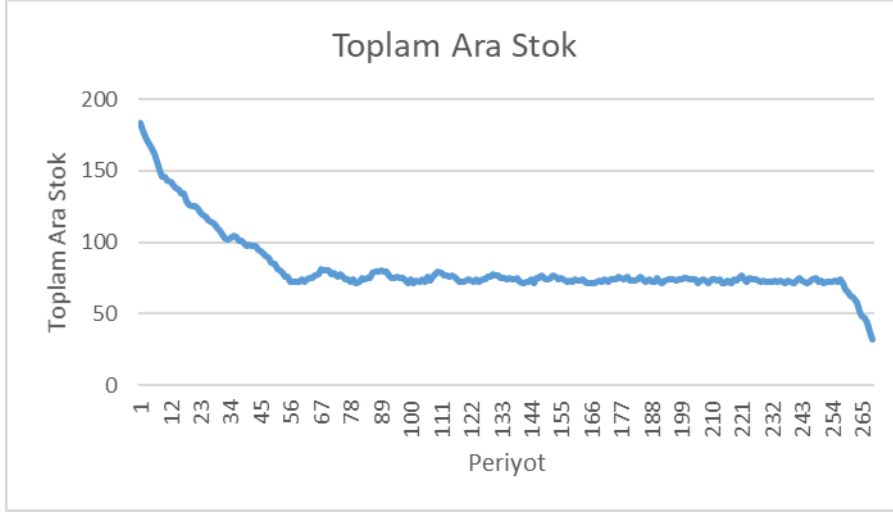
Ay	Hedef Sayılar	Sol Üretim	Sağ Üretim	Alt Üretim	En İyi Toplam Üretim
1	36	53,400	53,400	53,400	160,200
2	45	48,840	48,840	48,840	146,520
3	30	55,500	55,500	55,500	166,500
4	39	44,400	44,400	44,400	133,200
5	54	50,280	50,280	50,280	150,840
6	54	42,180	42,180	42,180	126,540
7	30	48,500	48,500	48,500	145,500
8	27	54,400	54,400	54,400	163,200
9	45	51,060	51,060	51,060	153,180
10	51	49,940	49,940	49,940	149,820
11	51	54,400	54,400	54,400	163,200
12	33	51,060	51,060	51,060	153,180

Şekil 4.27`de $\epsilon_j = 3$ kısıtı matematiksel modele eklendiğinde ortalama toplam ara stok 90,237 olmuştur. Bu değer temel modele göre daha yüksektir.



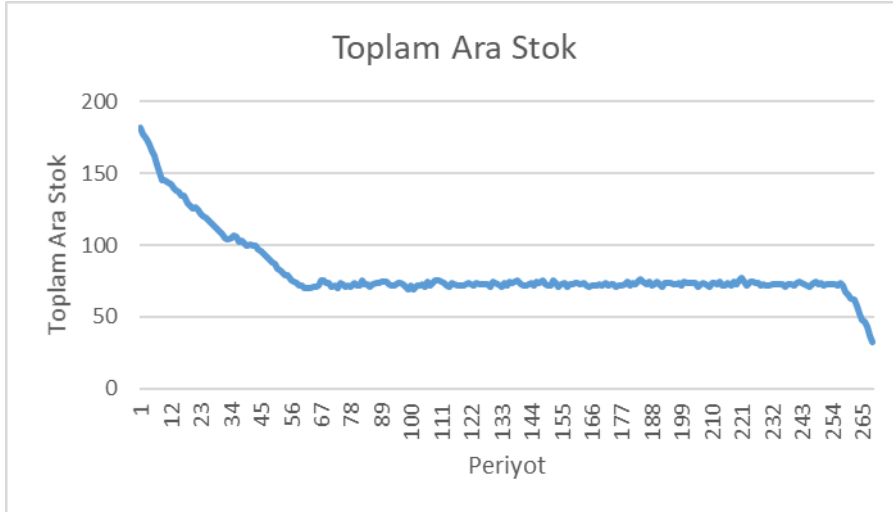
Şekil 4.27 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 3$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Şekil 4.28`de $\epsilon_j = 1$ kısıtı matematiksel modele eklendiğinde ortalama toplam ara stok 83,227 olmuştur. $\epsilon_j = 3$ kısıtına göre ortalama toplam ara stokta azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.28 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 1$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Şekil 4.29`da $\epsilon_j = 0$ kısıtı matematiksel modele eklendiğinde ortalama toplam ara stok 82,380 olmuştur. $\epsilon_j = 1$ kısıtına göre ortalama toplam ara stokta azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.29 Senaryo 2 Durum 1 $\epsilon_j = 0$ İçin Toplam Ara Stok Miktarları

Durum 2

Modelin ele alınan bu uzantısında, gerçek sistemin sahip olduğu yüksek ara stok miktarlarının etkisi altında olmadan modelin çıktısının incelenmesi amacıyla ara stok miktarları değiştirilerek parametrelerin etkisi incelenmektedir. Senaryo 3 gerçek sisteminde mevcut ara stoklar yüksek olduğu için sistemin ara stokları fiziksel alan kısıtı değerine oldukça yakındır.

Tablo 4.26`da gösterildiği üzere, Üretim Sistemi 1-8 arasında kapasiteler temel modele eşit alınmıştır. Üretim Sistemi 1 ve 2`de başlangıç ara stoğu arttıkça ortalama ara stoğun arttığı, Üretim Sistemi 2 ve 3`te ara stok alanı azaldıkça ortalama ara stoğun arttığı gözlemlenmektedir. Üretim Sistemi 5, 6, 7 ve 8`de epsilon değeri azaldıkça öncelikle ortalama ara stok artmış, $\epsilon_j = 0$ için ortalama ara stok azalmıştır. Üretim Sistemi 9, 10 ve 11`de epsilon değeri azaldıkça öncelikle ortalama ara stok artmıştır.

Üretim Sistemi 14, 15 ve 16`da epsilon değeri azaldıkça (Üretim Sistemi 5, 6, 7 ve 8`e benzer şekilde) öncelikle ortalama ara stok artmış, $\epsilon_j = 0$ için ortalama ara stok azalmıştır. Üretim Sistemi 16 ve 17`de başlangıç ara stok alanı değeri azaldıkça ortalama ara stok azalmıştır.

Tablo 4.26 Senaryo 3 Durum 2 İçin Farklı Parametreler ve Çıktıları

Üretim Sistemi	İlk İstasyonlar Kapasite	Son 4 İstasyon Kapasite	İlk İstasyonlar Başlangıç Ara Stoğu	Son 4 İstasyon Başlangıç Ara Stoğu	ϵ_j	Ara Stok Alanı	Ortalama Ara Stok (İlk 3 periyot hariç)	Stok	En İyi Toplam Üretim
1	1-2,22	1-3	2,22	3	5	70	72,110	111,960	1820,880
2	1-2,22	1-3	3	3	5	70	72,136	111,960	1820,880
3	1-2,22	1-3	3	3	5	20	72,148	111,960	1820,880
4	1-2,22	1-3	3	3	5	10	72,148	111,960	1820,880
5	1-2,22	1-3	3	3	5	5	72,128	111,960	1820,880
6	1-2,22	1-3	3	3	3	5	72,130	111,960	1820,880
7	1-2,22	1-3	3	3	1	5	72,146	111,960	1820,880
8	1-2,22	1-3	3	3	0	5	72,119	111,960	1820,880
9	1-2	1-3	2,22	3	5	20	65,290	53,000	1644,000
10	1-2	1-3	2,22	3	3	20	65,297	53,000	1644,000
11	1-2	1-3	2,22	3	0	20	65,312	53,000	1644,000
12	1.5-2	2-3	2,22	3	5	20	63,883	53,000	1644,000
13	1.5-2	2-3	2,22	3	1	10	63,883	53,000	1644,000
14	2-2,22	2-3	2,22	3	5	10	72,078	111,960	1820,880
15	2-2,22	2-3	2,22	3	3	10	72,082	111,960	1820,880
16	2-2,22	2-3	2,22	3	0	10	72,046	111,960	1820,880
17	2-2,22	2-3	2,22	3	0	5	72,042	111,960	1820,880

4.3.1.1 Senaryo 3 Hibrit Sistem Analizi

Senaryo 3 için oluşturulan hibrit sistemde ara stoklar mevcut sisteme uygun olarak alınmıştır ve model hattın fiziksel kapasitesine uygun olarak çalıştırılmıştır. Öncelikle hattın çekme mantığıyla çalıştırılması için yıllık toplam hedef sayıları ay cinsinde aylık periyot sayısına bölünmüştür. Bu doğrultuda hattın çekme mantığıyla çalışabilmesi için günde/periyotta 1,820 komponent üretmesi gerekmektedir. Tablo 4.27`de gösterildiği üzere, çekme sistemi ile üretim yapıldığında üretim tamamen müşteri siparişlerine göre yapıldığından periyotlar sonunda stok tutulmamıştır.

Üretim Sistemi 9 ve 10 hibrit üretim sistemini temsil etmektedir. Model hibrit üretim sistemi için uygun sonuç vermemiştir. Üretim Sistemi 3`te ilk istasyonlar itme ile tam kapasite, son istasyonlar kapasitesinin altında üretim yapmıştır. Bu durumun sonucunda yıl sonunda 103,400 stok gözlemlenmiştir. İstasyonlar için minimum başlangıç stoğu 3`e azaltıldığında Üretim Sistemi 5`te matematiksel model için toplam ara stok azalmıştır. Senaryo 3 için sadece Üretim Sistemi 1, 3, 5, 14 ve 16 için uygun sonuç vermiştir.

Tablo 4.27 Senaryo 3 İçin Hibrit Sistem Kapasite ve Çıktıları

Üretim Sistemi	İlk İstasyonlar Kapasite	Son 4 İstasyon Kapasite	Üretim Sistemi Tipi	Ara Stok Alanı	Ortalama Ara Stok (İlk 3 periyot hariç)	Stok	En İyi Toplam Üretim
1	1,820	1,820	Çekme	70	200	0	1485,000
2	1,820	2,000		70			
3	2,200	2,200		70	234	103,400	1795,200
4	2,200	2,200		70			
5	2,200	2,200		70	214	103,400	1795,200
6	2,200	3,000	İtme	70			
7	2,200	3,000	İtme	70			
8	2,200	3,000	İtme	70			
9	1,820	3,000	Hibrit	70			
10	2,200	1,820	Hibrit	70			
11	2,200	2,500		80			
12	2,200	2,000		80			
13	2,200	1,820		80			
14	2,220	2,220		80	214	108,84	1811,520
15	2,200	1,82-2,22		70			
16	2,200	1,82-2,20		70	214	103,4	1795,200
17	3,000	1,82-2,3		70			

4.3.2 Senaryo 3 Simülasyon Analizi

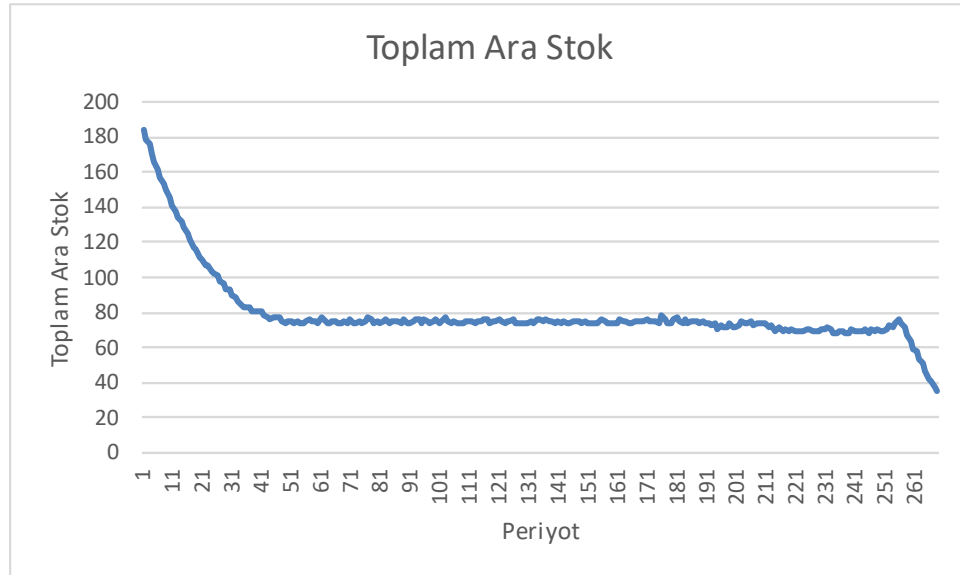
Oluşturulan matematiksel modelin çıktıları ve mevcut ara stoklar göz önünde bulundurularak modelin verdiği periyottaki üretim miktarını ifade eden $U_{i,t}$ miktarları farklı d değışiklik katsayıları ile üretimdeki insan, malzeme, hurda gibi faktörlerin etkisi temsiliyle saptırılarak üretim sistemi çıktıları gerçek hayatta oluşabilecek sapmaların etkisini görmek amacıyla incelenmiştir.

Tablo 4.28 Senaryo 3 Minimum-Maksimum Ara Stok ve Üretim Değerleri ($d = 0,01$)

İstasyon No	İstasyonun Maksimum Üretimi	İstasyonun Minimum Üretimi	İstasyonun Maksimum Ara Stoğu	İstasyonun Minimum Ara Stoğu
1	2,230	0,991	-	-
2	2,230	0,990	18,783	1,073
3	2,230	0,992	7,204	1,006
4	2,229	0,991	4,688	1,028
5	2,230	0,990	3,665	1,062
6	2,230	0,990	3,450	0,998
7	2,230	0,991	8,538	1,006
8	2,230	0,993	6,996	0,998
9	2,230	0,998	2,457	1,000
10	3,010	0,991	4,080	1,363
11	3,010	0,993	3,821	1,033
12	3,010	0,990	4,773	1,063
13	3,010	0,990	3,836	0,993
14	2,230	0,990	-	-
15	2,230	0,994	10,785	1,002
16	2,230	0,992	3,439	1,030
17	2,230	0,987	5,229	0,995
18	2,230	0,993	3,447	1,000
19	2,230	0,988	3,002	0,998
20	2,230	0,991	3,777	1,000
21	2,230	0,992	5,992	0,999
22	2,230	0,997	3,011	1,079
23	3,010	0,990	3,810	1,000
24	3,010	0,990	4,497	1,393
25	3,010	0,986	3,551	0,993
26	3,010	0,989	4,568	0,995
27	2,230	0,990	-	-
28	2,230	0,990	2,325	0,995
29	2,230	0,986	2,311	0,991
30	2,230	0,990	4,972	0,996
31	2,230	0,990	9,784	0,994
32	3,009	0,986	11,947	0,994
33	3,010	0,988	16,044	0,995
34	3,010	0,987	22,914	0,992
35	3,010	0,986	63,014	0,992

Tablo 4.28 `de istasyonlar için maksimum-minimum üretim ve ara stok miktarları yer almaktadır. Alt komponentin ilk istasyonlarında daha az ara stok tutulduğu gözlemlenmekte olup alt komponente ait yüksek başlangıç ara stoklarından dolayı ara stokların daha fazla olduğu görülmektedir.

Matematiksel modelde ortalama toplam ara stok 71 komponent civarında bir süre sabit gözlemlenmekte iken simülasyon için Şekil 4.30`da toplam ara stok miktarlarına bakıldığında ortalama toplam ara stoğun 74 komponent civarında bir süre sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Matematiksel modelin çıktıları ve simülasyon modelinin çıktıları karşılaştırıldığında ise simülasyon modeli ile eklenen değişkenliğin matematiksel modele göre daha az üretim yapılmasına neden olduğu gözlemlenmektedir. Matematiksel modelde en iyi toplam üretim 1817,660 iken simülasyonda 100 iterasyonda ortalama 1814,881 komponent çıktı verilmiştir.



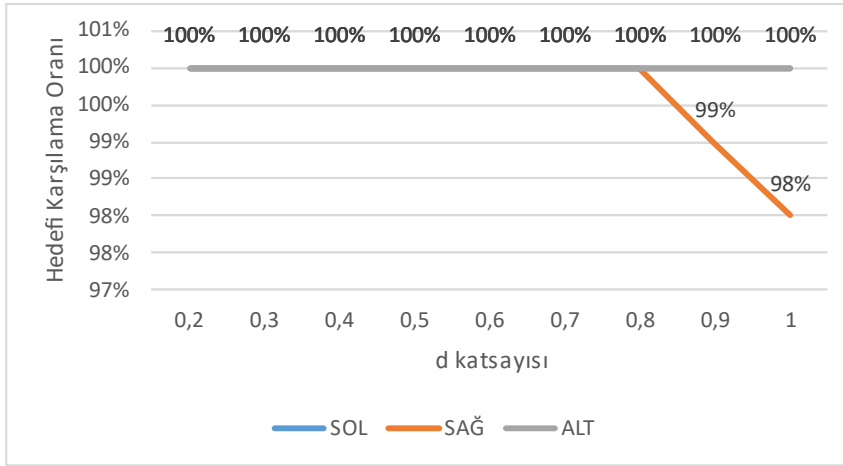
Şekil 4.30 Senaryo 3 Simülasyonu Toplam Ara Stok Miktarları

4.3.3 Senaryo 3 Değişiklik Katsayısı Sevkiyatı Karşılama Analizi

Simülasyon modelinde istasyonun önündeki ara stok miktarı ile gerçekleştirilecek üretim miktarı $\pm d$ değişiklik katsayısı ile değiştirilerek 100 iterasyon için yeni üretim ve istasyonların sahip olduğu ara stok miktarları incelenmiştir.

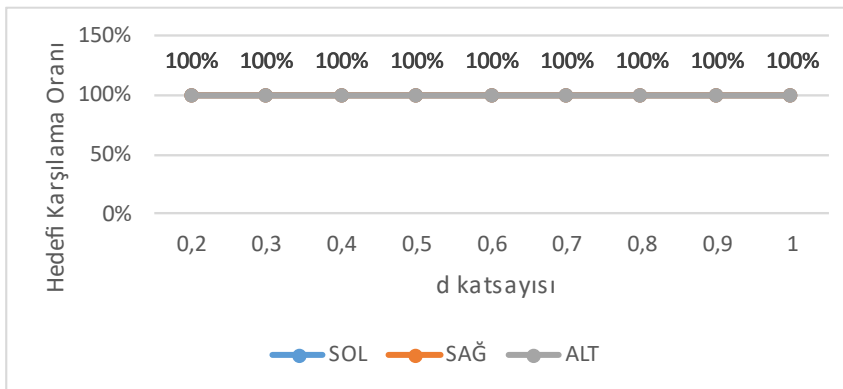
Öncelikle yılın başındaki fiziki olarak mevcut bitmiş ürün stokları hesaba katılmadan değişiklik katsayısı kullanılarak kurulan simülasyon modeli ile sevkiyat hedeflerinin karşılanma olasılığı hesaplanmıştır.

Elde edilen çıktılar incelendiğinde sevkiyatı karşılama oranı komponentler için aynı olup %100 oranında başlayıp yalnızca sağ komponent için %98'e inmektedir, d parametresi ile matematiksel modelin çıktısından elde edilen üretim miktarından yapılacak sapma miktarı belirlendiği için parametre değerinin artması, genel olarak hedef üretimden yapılan sapmanın arttığı anlamına gelmekte olup Şekil 4.31`de gözlemlenen hedefi karşılamanın azalması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.31 Senaryo 3 İçin d Katsayısına Göre Hedefi Karşılama Oranı

Yılın başında sahip olunan bitmiş ürün stoğu ile Senaryo 3 için sevkiyatı karşılama oranı Şekil 4.32`de verildiği üzere %100 olmuştur. Bitmiş ürün stokları ile hedefi karşılama oranları belirli bir d değerine kadar bu değerden etkilenmemektedir. Verilen çıktılara bakıldığında Senaryo 3 için yılın başında sahip olunan stok miktarları müşteri talebinin tam karşılmasını sağlamıştır. Bu duruma gerçek sistemde de önem verilmektedir.



Şekil 4.32 Senaryo 3 İçin d Katsayısına Göre Komponentlerin Yılın Başındaki Stoklar ile Hedefi Karşılama Oranı

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Şirketler üretim yaparken sahip oldukları fiziksel kısıtlar ve müşteri beklentilerine ek olarak karşılaşılabilecekleri senaryolar için hızlı aksiyon alıp üretim planlarını doğru yönetmek isterler. Üretim planlanırken mevcut kapasite ile oluşturulabilecek planlar ve bunların çıktılarının hızlı analizi her durumda mümkün olmamaktadır. Yapılan fazla üretimler üretim alanının sıkışmasını ya da üretilen ürünlerin fiziki hasar sonucu tehlikeye girmesine neden olabilecekken müşteri talebinin değişimi ile oluşabilecek bir talebi karşılayamama durumu da firmanın itibar ve maddi kaybına neden olabilmektedir.

Bu kapsamda literatürde yer alan farklı üretim sistemleri üzerine olan çalışmalar incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında hibrit üretim sistemlerinin görece çok kullanıldığı, itme ve çekme sistemlerinin avantajlarının birlikte kullanılarak çalıştırılan üretim sistemlerinin farklı çıktı beklentilerini karşıladığı görülmektedir. Gerçek hayatta müşteri istekleri, mevcut fiziki kısıtlar ve fazla stokların dezavantajlarını önlemek amacıyla karşılaşılan birçok kısıta karşın üretim miktarlarının belirlenmesi ve bu üretim miktarları ile oluşabilecek çıktıların öngörülmesi, hızlı planlamaların yapılmasını zorlaştırmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında öncelikle matematiksel model oluşturularak mevcut kapasite ile üretim periyotlarındaki en iyi üretim miktarı ve ara stoklar belirlenmektedir. Model mevcut alan kısıtı, kapasite kısıtı ve stok denge kısıtlarından oluşmaktadır. Matematiksel model mevcut kısıtlar ile maksimum üretim miktarını vermeyi amaçlamaktadır. Oluşturulan model ile üretim sistemlerinde dönemlik üretim miktarları, ara stok miktarları, müşteri takvimine göre dönem sonu stok miktarları ve değişkenliğin olduğu durumda müşteri taleplerini karşılama olasılığı olan farklı performans ölçütlerinin analizleri yapılmıştır.

Matematiksel model ile toplam ara stok miktarı, istasyonların maksimum ve minimum üretim miktarları, istasyonların maksimum ve minimum ara stok miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca tek komponent üretilen Senaryo 1 için müşteri hedeflerine eşit ve müşteri hedeflerine eşit ya da daha fazla üretim yapılmasını sağlayan kısıtlar eklenerek elde edilen çıktılar, birden çok komponent çeşidi olan Senaryo 2 ve 3 için komponentlerin üretim oranları incelenmektedir. Üç farklı senaryonun itme, çekme ve hibrit sistemler ile verdiği çıktılar değerlendirilmektedir.

Senaryo 1 ve Senaryo 2 ilk istasyonların itme, son istasyonların çekme ile üretim yaptığı hibrit üretim sistemi için uygun sonuç vermemiştir ancak ilk istasyonların çekme, son istasyonların itme ile üretim yaptığı hibrit üretim sistemi için uygun sonuç elde edilmiştir. Senaryo 3 hibrit üretim sistemi için uygun sonuç vermemiştir. Senaryo 3 yüksek başlangıç ara stoklarına sahip olduğundan, özellikle alt komponentin son istasyonu önündeki başlangıç ara stok miktarı ara stok alanı kısıtına yakın olduğu için model daha az uygun sonuç vermiştir.

Matematiksel modelden elde edilen çıktılar üretimde karşılaşılabilecek hurda olasılığı gibi aksaklıkların etkilerinin incelenmesi amacıyla simülasyon çalışması yardımıyla analiz edilmekte ve senaryo analizi ile elde edilen sonuçlar incelenerek karar vericilere yol gösterecek senaryoların çıktıları verilmektedir. Sistemde oluşan yıl sonu stoğu, toplam ara stok miktarları ve üretim miktarları incelenerek gerçekte olan sistemler ile uyumluluğu gözlemlenmektedir.

Son olarak, senaryoların gerçekte sahip olduğu sene sonu stokları ile ve sene sonu stokları olmadan farklı değişiklik katsayıları kullanılarak matematiksel modelin çıktıları sonucu yeniden değerlendirilmiştir. Öncelikle yılın başındaki fiziki olarak mevcut bitmiş ürün stokları hesaba katılmadan değişiklik katsayısı kullanılarak kurulan simülasyon modeli ile sevkiyat hedeflerinin karşılanma olasılığı hesaplanmıştır. Değişiklik parametresi ile matematiksel modelin çıktısından elde edilen üretim miktarından yapılacak sapma miktarı belirlendiği için d parametre değerinin artması, hedef üretimden yapılan sapmanın arttığı anlamına gelmekte olup senaryolar için parametre değeri arttıkça hedefi karşılama olasılığının azaldığı gözlemlenmektedir. Bitmiş ürün stokları ile hedefi karşılama oranları belirli bir d değerine kadar bu değerden etkilenmediği gözlemlenmektedir.

Senaryo 2 ve Senaryo 3 üç farklı komponent üretmekte olup 30 ve 35 istasyona sahiptir. Senaryoların periyotlardaki toplam ara stok miktarı incelendiğinde kapasite ve istasyon sayısı daha çok olan Senaryo 3`ün en yüksek ortalama toplam ara stok sayısını verdiği görülmüştür. Senaryo 3`ün ortalama toplam ara stoğunun, Senaryo 2`nin kapasite ve istasyon sayısına uygun olarak orantılandığı durumda da, Senaryo 3`ün sahip olduğu başlangıç ara stoklarından dolayı daha fazla olduğu görülmektedir. Senaryolarda başlangıç ara stoğu ve kapasite arttıkça ortalama ara stoğun arttığı gözlemlenmiştir. Senaryo 2 için E_j değeri azaldıkça ortalama toplam ara stok miktarı artmıştır. En yüksek ortalama toplam ara stok miktarı $E_j = 0$ için gözlemlenmiştir.

Modele eklenen komponentlerin arasındaki üretim farkını aylık periyotlarda sınırlayan kısıt sonucunda modelin amaç fonksiyonu değeri değişmemiştir. Senaryo 3 için ϵ_j değeri azaldıkça öncelikle ortalama ara stok artmış, $\epsilon_j = 0$ için ortalama ara stok azalmıştır. ϵ_j değeri azaldıkça öncelikle amaç fonksiyonu değeri artmış, ϵ_j değeri biraz daha düşünce amaç fonksiyonu değeri azalsa da temel modelden yüksek kalmıştır. Senaryo 3`te $\epsilon_j = 0$ için ek yüksek amaç fonksiyonu değeri elde edilmiştir.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında dengede olmayan hatlar için stok denge kısıtına katsayı eklenerek model değiştirilebilir. Stok maliyeti olan projeler için amaç fonksiyonu değiştirilerek farklı modellerin çıktısı birlikte değerlendirilebilir. Üretim miktarlarının saptırılmasında kullanılan değişiklik katsayılarının hesabında projelerdeki farklı gecikme faktörleri kullanılarak simülasyon modelinin gündelik hayata daha da yakın sonuç vermesi sağlanabilir. Çalışmanın simülasyon kısmında değişiklik katsayısı yerine farklı sezgisel algoritmalar kullanılarak çıktılar değerlendirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Al-Hawari, T. A., Qasem, A. G. and Smadi, H., Development and Evaluation of a Basestock-CONWIP Pull, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 84, (2016), 83-105.
- Altun, K. and Göleç, A., A Comparative Simulation Study of Production Control Systems, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27.2, (2011), 200-207.
- Amar, M. A. B., Camus, H. and Korbaa, O., Formalization of Cyclic Scheduling Problems With Assembly Tasks and Work-In-Process Minimization, *Proceedings of the Fourth International Conference on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems*, (2010).
- Bonney, M. C., Zhang, Z., Head, M. A., Tien, C. C. and Barson, R. J., Are Push and Pull Systems Really so Different, *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, Issue 1-3, (1999), 53-64.
- Bortolini, M., Faccio, M., Galizia, F. G. and Gamberi, M., Push/Pull Parts Production Policy Optimization in the ATO Environment, *Applied Sciences*, 11, (2021).
- Cochran, J. K. and Kaylani, H. A., Optimal Design of a Hybrid Push/Pull Serial Manufacturing System with Multiple Part Types, *International Journal of Production Research*, 46.4, (2007), 949-965.
- Cuatrecasas-Arbós, L., Fortuny-Santos, J., López, P. R. A. and Vintro, C., Monitoring Processes through Inventory and Manufacturing Lead Time, *Industrial Management & Data Systems*, 115(5), (2015), 951-970.
- Erozan, İ., A Comparative Study and a Proposal of a Decision Support System for the Pull Systems, *Gazi University Journal of Science*, 7.3, (2019), 523-539.
- Ferro, R., Papa, M. C. O., Helleno, A. L. and Moraes, A. J. I., Application of Simulation for Sizing of Work in Process (WIP) - Case Study in a Manufacturer Company Valve, (2014).
- Gaury, E. G., Kleijnen, J. P. and Pierreval, H., Configuring a Pull Production Control Strategy Through a Generic Model, *IFAC Proceedings Volumes*, 30.19, (1997), 187-192.

Geraghty, J. and Heavey, C., A Comparison of Hybrid Push/Pull and CONWIP/Pull Production Inventory Control Policies, *International Journal of Production Economics*, Elsevier, vol. 91(1), (2004), 75-90.

Hirakawa, Y., Performance of a Multistage Hybrid Push/Pull Production Control System, *International Journal of Production Economics*, 44.1-2, (1996), 129-135.

Jiang, J. and Rim, S., Strategic Inventory Positioning in BOM with Multiple Parents Using ASR Lead Time, *Mathematical Problems in Engineering*, 4, (2016), 1-9.

Koçak, A., Different Approaches On Material Requirements Planning And Kanban Integration in Material Management, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10.1, (2008), 225-246.

Lage, M. and Filho, M. G., Variations of the Kanban System: Literature Review and Classification, *International Journal of Production Economics*, 125.1, (2010), 13-21.

Mahapatra, S., Yu, D. Z. and Mahmoodi, F., Impact of the Pull and Push-Pull Policies on the Performance of a Three-Stage Supply Chain, *International Journal of Production Research*, (2012), 1-19.

Naufal, A., Jaffar, A., Yusoff, N., Hayati, N., Development of Kanban System at Local Manufacturing Company in Malaysia – Case Study, *Procedia Engineering*, 41, (2012), 1721-1726.

Olaitan, O., Rotondo, A., Young, P. and Geraghty, J., Hybrid Kanban Allocation Policy in Pull Control of Multiproduct Manufacturing Systems, *27th European Simulation and Modelling Conference*, 23-25 October 2013, Lancaster University, Lancaster, United Kingdom, (2013).

Onyeocha, C. E., Wang, J., Khoury, J. and Geraghty, J., A Comparison of HK-CONWIP and BK-CONWIP Control Strategies in a Multi-Product Manufacturing System, *Operations Research Perspectives*, 2, (2015), 137-149.

Pettersen, J. A. and Segerstedt, A., Restricted Work-in-Process: A Study of Differences between Kanban and CONWIP, *International Journal of Production Economics*, 118.1, (2009), 119-207.

Pinheiro, N. M. G., Cleto, M. G., Zattar, I. C. and Muller, S. I. M. G., Performance Evaluation of Pulled, Pushed and Hybrid Production through Simulation: A Case Study, *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 16, (2019), 685-697.

- Prakash, J. and Feng, C. J., Variation of CONWIP Systems, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, Vol:6, No:12, (2012).
- Puchkova, A., Le Romancer, J. and McFarlane, D., Balancing Push and Pull Strategies within the Production System, IFAC-PapersOnLine, 49.2, (2016), 66-71.
- Ramachandran, K., Whitman, L.E. and Ramachandran, A.B., Criteria for Determining the Push – Pull Boundary, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Wichita State University, (2002).
- Savsar, M., Modeling of Hybrid Production Systems with Constant WIP and Unreliable Equipment. International Journal of Information Systems and Supply Chain, 4.4, (2011), 46-66.
- Sinaga, A. T. and Wangsaputra, R., The Determination of Production and Distribution Policy in Push-Pull Production Chain with Supply Hub as the Junction Point, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 319, (2018).
- Singh, N., Hung Shek, K. and Meloche, D., The Development of a Kanban System: A Case Study, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 10, No. 7, (1990), 28-36.
- Srikanth, O., Raju, A. V. S. R. and Murty, B. V. R., Evaluation of Manufacturing Process Performance by CONWIP Hybridization of Pull Controlled Production Systems, MATEC Web Conference, Volume 144, (2018).
- Toni, A. F. and Caputo, M., Production Management Techniques: Push-Pull Classification and Application Conditions, International Journal of Operations & Production Management, 8(2), (1988), 35-51.
- Tošanovic, N. and Štefanić, N., Influence of Bottleneck on Productivity of Production Processes Controlled by Different Pull Control Mechanisms, Applied Sciences, 12, (2022), 1395.
- Venkatesh, K., Zhou, M. C., Kaighobadi, M. and Caudill, R., A Petri Net Approach to Investigating Push and Pull Paradigms in Flexible Factory Automated Systems, International Journal of Production Research, 34.3, (1996), 595-620.

Wee, H. M., Peng, S. Y. and Yang, C. C., A Comparative Study of Taiwanese Production Management System with Different Outsourcing Strategy, Journal of Advanced Manufacturing Systems, Vol. 08, No. 02, (2009), 193-203.