



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

**Yatai Seru Üretim Sisteminde Stok Politikalarının
Büyüme Hızı Odağında Değerlendirilmesi**

Yüksek Lisans Tezi

Maksat Kudratov

Eylül 2025



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

**Yatai Seru Üretim Sisteminde Stok Politikalarının
Büyüme Hızı Odağında Değerlendirilmesi**

Yüksek Lisans Tezi

Maksat Kudratov

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Raşit Cesur

Eylül 2025

TEZ JÜRİSİ ONAYI

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrencisi Maksat Kudratov tarafından hazırlanan "Yatai Seru Üretim Sisteminde Stok Politikalarının Büyüme Hızı Odağında Değerlendirilmesi" başlıklı bu Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Raşit Cesur
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Doç. Dr. Üyesi Elif Cesur
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Saime Taphasanoğlu
İstanbul Rumeli Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 22/09/2025

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığımda yazılan bu tezin akademik yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun akademik kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Raşit Cesur

Etik İlkeler Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

İmza

Maksat Kudratov

ÖZET

Yatai Seru Üretim Sisteminde Stok Politikalarının Büyüme Hızı Odağında Değerlendirilmesi

Kudratov, Maksat

Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Raşit Cesur

Eylül 2025

Yatai Seru üretim sisteminde stok politikalarının büyüme hızı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yürütülen bu çalışma, Afara Tarım Robotu üzerine yapılan analitik bir vaka çalışmasıdır. Çalışmada, Sabit Konumlu Hat Dengeleme ile Yatai Seru modellerinin operasyonel verimlilik, iş gücü kullanımı ve finansal göstergeleri karşılaştırılmıştır. İlk aşamada sabit konumlu montaj yaklaşımıyla hat dengelemesi yapılmış; iş yükü dengesi, çevrim süreleri ve verimlilik incelenmiştir. Yatai Seru modeli ile alternatif bir üretim yapısı kurulmuş ve süre ile iş gücü verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada, ürün ağacına dayalı MRP senaryoları geliştirilmiştir: (1) yerli/yerli – stoksuz, (2) ithal – stoksuz, (3) yerli/yerli – stoklu ve (4) ithal – stoklu. Bu senaryolar ticari, stok ve finansal performans ölçütleri açısından değerlendirilmiş; stok çevrim süresi (DIO), malzeme çevrim süresi (MCT) ve nakit çevrim süresi (CCC) gibi metrikler hesaplanmıştır.

Yatai Seru yaklaşımı, uzun vadede iş gücü verimliliğini ve üretim esnekliğini olumlu etkilerken; yerli-stoklu strateji (Senaryo 3) büyüme hızı ve finansal sürdürülebilirlik açısından en dengeli çözüm olmuştur. İthal-stoklu strateji (Senaryo 4) kısa vadede avantaj sağlasa da finansman yükü nedeniyle uzun vadede dezavantajlı bulunmuştur. Bu çalışma, Yatai Seru üretim sisteminin gerçek uygulama ortamında performansını değerlendiren bir vaka örneği sunarak; üretim yönetimi, stok stratejileri ve finansal sürdürülebilirlik arasında bütüncül bir ilişki analizi ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yatai Seru, Vaka Çalışması, Üretim Verimliliği, Çevrim Süreleri, Finansal Sürdürülebilirlik

ABSTRACT

Evaluation of Inventory Policies in the Yatai-Seru Production System from a Growth-Rate Perspective

Kudratov, Maksat

Master's Thesis, Department of Engineering Management

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Raşit Cesur

September 2025

This study analyzes the effects of inventory policies on growth rate within the Yatai Seru production system through an analytical case study conducted on the Afara Agricultural Robot. The research compares the Fixed-Position Assembly Line Balancing and Yatai Seru models in terms of operational efficiency, labor utilization, and financial performance indicators. In the first stage, line balancing was carried out using the fixed-position assembly approach, and workload balance, cycle times, and efficiency were examined. An alternative production structure was then established using the Yatai Seru model, and the two systems were compared in terms of production time and labor productivity. In the second stage, Material Requirements Planning (MRP) scenarios were developed based on the product tree: (1) domestic/domestic supplier – non-stocked, (2) imported – non-stocked, (3) domestic/domestic supplier – stocked, and (4) imported – stocked. These scenarios were evaluated in terms of commercial, inventory, and financial performance metrics, and indicators such as Days Inventory Outstanding (DIO), Manufacturing Cycle Time (MCT), and Cash Conversion Cycle (CCC) were calculated.

The findings reveal that the Yatai Seru approach improves labor efficiency and production flexibility in the long term, while the domestic-stocked strategy (Scenario 3) provides the most balanced solution for growth rate and financial sustainability. Although the imported-stocked strategy (Scenario 4) offers shorter delivery times, it is found to be disadvantageous in the long run due to high financing requirements. This study presents an analytical case example evaluating the real-world performance of the Yatai Seru production system and provides a holistic analysis of the relationship between production management, inventory strategies, and financial sustainability.

Keywords: Yatai Seru, Case Study, Production Efficiency, Cycle Times, Financial Sustainability

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2. Araştırmanın Önemi.....	3
1.3. Yöntem ve Vaka Çalışmasının Kurgusu.....	3
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
2.1. Üretim Sistemleri	6
2.2. Yalın Üretim Yaklaşımları.....	7
2.3. Serü Üretim Sistemi ve Yatai Modeli.....	8
2.4. Hat Dengeleme ve Üretim Verimliliği	9
2.4.1. Sabit Konumlu Montajda Hat Dengeleme	11
2.5. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP)	13
2.6. Stok Politikaları (Stoklu/Stoksuz)	14
2.6.1. Yerli ve İthal Tedarik Farklılıkları	16
2.7. Çevrim Süreleri ve Döngü Metrikleri	17
2.7.1. Stok Çevrim Süresi.....	18
2.7.2. Malzeme Çevrim Süresi	19
2.7.3. Nakit Çevrim Süresi	20
3. VAKA ÇALIŞMASI: AFARA TARIM ROBOTU	22
3.1. Afara Tarım Robotunun Genel Özellikleri	22
3.1.1. Kurumun Tanımı	23
3.2. Vaka Çalışmasının Kapsamı	23
3.2.1. Veri Toplama ve Analiz Süreci.....	24
4. YÖNTEM	25

4.1. Araştırma Modeli ve Yöntemsel Yaklaşım	25
4.1.1. Malzeme Listesi ve Ürün Ağacı	26
4.1.2. Faaliyetler ve Öncelik İlişkileri	31
4.2. CPM Analizi	32
4.2.1. Kritik Yol ve Toplam Süre	33
4.3. Sabit Konumlu Hat Dengeleme	36
4.3.1. Mekanik ve Elektrik Teknisyenlerine İş Atamaları	37
4.4. Yatai Seru Uygulaması	39
4.4.1. Nitelikli Personel ile İş Dağılımı	40
4.5. Süre ve Verimlilik Karşılaştırması	40
4.6. MRP Senaryoları	42
4.6.1. Senaryo 1 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz	43
4.6.2. Senaryo 2 – İthal, Stoksuz	45
4.6.3. Senaryo 3 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu	46
4.6.4. Senaryo 4 – İthal, Stoklu	48
4.7. Maliyet Analizi Yöntemi	49
4.7.1. Elde Tutma Maliyetleri	51
4.7.2. Sipariş Maliyetleri	56
4.7.3. Yerli ve İthal Tedarik Karşılaştırmaları	59
4.8. Çevrim Sürelerinin Hesaplanması	62
4.8.1. Stok Çevrim Süresi	64
4.8.2. Malzeme Çevrim Süresi	67
4.8.3. Nakit Çevrim Süresi	70
5. BULGULAR	75
5.1. Sabit Konumlu Hat Dengeleme – Yatai Seru Karşılaştırması	75
5.2. MRP Senaryo Sonuçları	76
5.3. Maliyet Bulguları	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
6.1. Sonuç	81

6.2. Öneriler	83
7. REFERANSLAR	85
8. EKLER	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Robotun Üretim Süresinin Hesaplanması İçin CPM Uygulanması Ve QM For Windows'da Çözümü.....	35
Şekil 2 Robotun Üretim Süresinin Hesaplanması İçin CPM Uygulanması, QM For Windows'da Çözümü Ve Kritik Yol.....	36
Şekil 3 Tez - Kurum İşbirliği Beyanı	89

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1 Afara Tarım Robotunun Teknik Özellikleri.....	22
Tablo 2 Malzeme Listesi, Tedarik Süreleri ve Fiyat Bilgileri	27
Tablo 3 Afara Tarım Robotunun Ürün Ağacı.....	30
Tablo 4 Üretim Süreci Faaliyetleri ve Öncelik İlişkileri	31
Tablo 5 Robotun Üretim Sürecinin Hesaplanması İçin CPM Uygulanması	33
Tablo 6 Mekanik ve Elektrik Teknisyenlerine İş Atamaları	37
Tablo 7 MRP Sonuçları - Senaryo 1 (Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz Üretim Modeli).....	44
Tablo 8 MRP Sonuçları - Senaryo 2 (İthal Tedarik, Stoksuz Üretim Modeli).....	46
Tablo 9 MRP Sonuçları - Senaryo 3 (Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu Üretim Modeli).....	48
Tablo 10 MRP Sonuçları - Senaryo 4 (İthal Tedarik, Stoklu Üretim Modeli).....	49
Tablo 11 Yerli/Yerli Tedarikçi (Stoklu) Senaryosunda Elde Tutma Maliyetleri (USD) ..	52
Tablo 12 İthal (Stoklu) Senaryosunda Elde Tutma Maliyetleri (USD).....	54
Tablo 13 Sipariş Maliyetlerinin Karşılaştırılması.....	58
Tablo 14 Senaryolara Göre Robot Birim Maliyetleri ve Teslim Tarihleri (Yatai Seru) ...	60
Tablo 15 Senaryolara Göre Robot Birim Maliyetleri ve Teslim Tarihleri (Sabit Konumlu Hat Dengeleme).....	60
Tablo 16 Senaryolara Göre Stok Çevrim Süresi (DIO).....	67
Tablo 17 Senaryolara Göre Malzeme Çevrim Süresi (MCT).....	69
Tablo 18 Nakit Çevrim Süresi	72
Tablo 19 Çalışma Sermayesi İhtiyacı	72
Tablo 20 MRP Senaryolarına Göre Üretim Süreleri, Gecikme Günleri ve Teslim Tarihleri Karşılaştırılması.....	73
Tablo 21 Sabit Konumlu Hat Dengeleme ve Yatai Seru Üretim Sistemleri Performans Karşılaştırması	78

KISALTMALAR

ABC: Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (Activity-Based Costing)

AHP: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process)

API: Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface)

Ar-Ge: Araştırma ve Geliştirme

BOM: Ürün Ağacı (Bill of Materials)

BMS: Battery Management System (Batarya Yönetim Sistemi)

CAD: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer-Aided Design)

CCC: Nakit Çevrim Süresi (Cash Conversion Cycle)

COGS: Satılan Malların Maliyeti (Cost of Goods Sold)

CPM: Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method)

DDMRP: Talep Odaklı Malzeme İhtiyaç Planlaması (Demand Driven Material Requirements Planning)

DIO: Stok Çevrim Süresi (Days Inventory Outstanding)

DPO: Borç Çevrim Süresi (Days Payable Outstanding)

DSO: Alacak Tahsil Süresi (Days Sales Outstanding)

ERP: Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning)

FIFO: İlk Giren İlk Çıkar (First In, First Out)

JIT: Tam Zamanında Üretim (Just-In-Time)

LFL: Lot-for-Lot (Partiden Partiye)

LiDAR: Light Detection and Ranging (Lazer ile Mesafe Algılama)

LIFO: Last In, First Out (Son Giren İlk Çıkar)

MCT: Malzeme Çevrim Süresi (Material Conversion Time)

MRP: Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirements Planning)

MTO: Siparişe Göre Üretim (Make-to-Order)

MTS: Make to Stock (Stoka Üretim)

MVP: Minimum Viable Product (Asgari Uygulanabilir Ürün)

PC: Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)

QM for Windows: Quantitative Methods for Windows (Kuantitatif Yöntemler için Windows Yazılımı)

Ür-Ge: Ürün Geliştirme

WIP: Work in Process (Üretim Sürecindeki Yarı Mamul)

S1: Senaryo 1 (Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz Strateji)

S2: Senaryo 2 (İthal Tedarikçi, Stoksuz Strateji)

S3: Senaryo 3 (Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu Strateji)

S4: Senaryo 4 (İthal Tedarikçi, Stoklu Strateji)

TOPSIS: Tercihe Göre Benzerlik İdealine Yakınlık Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

USD: Amerikan Doları (United States Dollar)

1. GİRİŞ

Küresel rekabet, ürün çeşitliliği ve talep belirsizliğinin arttığı bir dönemde üretim sistemlerinin esneklik, hız ve finansal dengeyi aynı anda sağlayacak biçimde tasarlanması kritik hâle gelmiştir. Özellikle prototip ve düşük/orta hacimli üretimlerde, iş gücü organizasyonu ile stok politikaları arasındaki etkileşim; üretim süresi, maliyet yapısı ve işletme sermayesi üzerinde doğrudan belirleyicidir. Bu çalışma, bu etkileşimi bir tarım robotu üretimi üzerinden somutlaştıran analitik bir vaka kurgusuyla ele alır. Araştırmanın odağında iki üretim yaklaşımı bulunmaktadır: sabit konumlu montaj ve Yatai Seru. Birincisi ürünün sabit kaldığı, ekiplerin ürün etrafında çalıştığı klasik proje tipi yapıyı; ikincisi ise çok becerili personelin hücresel düzenlerde akışı yönettiği, esneklik temelli yapıyı temsil eder. Çalışmanın temel çıkış noktası, aynı ürün için farklı üretim düzeneklerinin ve stok politikalarının operasyonel göstergeler (süre, atıl zaman, çıktı hızı) ile finansal göstergeler (DIO, MCT, CCC ve birim maliyet) üzerindeki etkilerini birlikte incelemektir. Bu amaçla, robotun üretim süreci önce faaliyet-temelli olarak modellenmiş; Kritik Yol Yöntemi (CPM) ile zaman yapısı analiz edilmiştir. Ardından iki ayrı üretim kurgusu oluşturulmuştur: (i) sabit konumlu montajda iş yükü dağıtımı ve hat dengeleme, (ii) Yatai Seru’da çok becerili personel ile hücresel akış. Ürün ağacından (BOM) hareketle MRP kurulmuş ve dört tedarik senaryosu tanımlanmıştır: yerli–stoksuz, ithal–stoksuz, yerli–stoklu, ithal–stoklu. Her senaryo, her iki üretim sistemi altında uygulanmış; üretim süresi ve birim maliyetin yanı sıra stok çevrim süresi (DIO), malzeme çevrim süresi (MCT) ve nakit çevrim süresi (CCC) hesaplanmıştır.

Vaka verileri, şirket izniyle temin edilen mühendislik ölçümleri, planlama çizelgeleri ve maliyet kayıtlarından derlenmiştir. Analiz kapsamı fabrika içi süreçlerle sınırlandırılmış; satış/lojistik sonrası aşamalar kapsam dışında bırakılmıştır. Bulgular, prototip/erken ölçek koşullarında karar vericilere yol gösterici olacak biçimde, operasyonel–finansal göstergelerin birlikte okunmasına imkân veren karşılaştırmalı bir çerçeve sunar. Bu çalışma, aynı ürün için iki farklı üretim düzeninin ve dört stok/tedarik stratejisinin etkilerini bütüncül biçimde ortaya koyarak; “hangi üretim yapısı, hangi stok politikasıyla birlikte, hangi finansal sonuçları doğurur?” sorusuna veri temelli yanıtlar üretmeyi amaçlar.

1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu araştırmanın temel amacı, tarımsal robotik sistemlerin üretiminde kullanılan iki farklı üretim yaklaşımının — Yatai Seru ve Sabit Konumlu Hat Dengeleme sistemlerinin — üretim süresi, iş gücü verimliliği ve finansal sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemektir. Çalışma, bu kapsamda yürütülen bir vaka çalışması üzerinden, üretim modelinin işletme performansına etkilerini analiz etmeyi hedeflemektedir. Araştırmada, üretim sisteminin yapısal özelliklerinin yalnızca operasyonel göstergeler (üretim süresi, iş gücü kullanımı vb.) üzerinde değil; aynı zamanda stok yönetimi, malzeme tedarik stratejileri ve nakit akışı gibi finansal göstergeler üzerinde de belirleyici rol oynadığı varsayılmaktadır.

Çalışmanın kapsamı, tarımsal robot üretimine ilişkin vaka çalışmasıyla sınırlıdır. Bu vaka çalışmasında üretim hattının fiziksel yapısı, iş gücü dağılımı, tedarik zinciri süreçleri, stok politikaları ve finansal çevrim süreleri analiz edilmiştir. Üretim sonrası satış, dağıtım ve müşteri lojistiği aşamaları kapsam dışında bırakılmış; değerlendirmeler fabrika içi üretim ve planlama süreçleriyle sınırlandırılmıştır. Araştırmada, stoklu/stoksuz ve yerli/ithal tedarik değişkenleri dikkate alınarak dört farklı senaryo oluşturulmuştur:

1. Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoksuz
2. İthal – Stoksuz
3. Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoklu
4. İthal – Stoklu

Bu senaryolar hem Yatai Seru hem de Sabit Konumlu üretim modellerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar üretim süresi, maliyet, malzeme çevrim süresi (MCT), stok çevrim süresi (DIO) ve nakit çevrim süresi (CCC) gibi göstergeler üzerinden değerlendirilmiştir. Araştırmanın amacı, üretim sistemi seçiminin işletme büyüme hızı ve finansal denge üzerindeki etkilerini bütüncül biçimde ortaya koymaktır. Bu bağlamda, çalışma literatürde genellikle ayrı incelenen üretim sistemleri, stok yönetimi ve finansal performans ilişkilerini entegre biçimde ele alarak, üretim yönetimi kararlarının finansal sürdürülebilirlik üzerindeki etkisine dair kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Elde edilen bulgular, özellikle teknoloji tabanlı üretim yapan işletmelerde üretim stratejilerinin büyüme hızıyla uyumlandırılması konusunda karar alıcılara yön gösterecek niteliktedir.

1.2. Araştırmanın Önemi

Bu çalışma, üretim yönetimi ve finansal sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiyi bütüncül biçimde ele alarak literatürde ele alınan bir konuyu derinlemesine incelemektedir. Geleneksel üretim sistemleri çoğunlukla operasyonel göstergeler (süre, maliyet, verimlilik) üzerinden değerlendirilirken; bu araştırma, üretim modelinin nakit çevrim süresi, stok politikaları ve büyüme hızı üzerindeki etkilerini eş zamanlı olarak analiz etmektedir.

Yürütülen vaka çalışması, üretim modeli seçiminin yalnızca üretim performansını değil, aynı zamanda işletme sermayesi yönetimi ve finansal dengeyi de doğrudan etkilediğini göstermektedir. Bu yönüyle araştırma, üretim sistemlerinin finansal göstergeler üzerindeki etkisini inceleyen uygulamalı bir çalışma niteliğindedir. Özellikle Yatai Seru modeli gibi esnek ve iş gücü merkezli sistemlerin uygulanabilirliğini analiz eden bu çalışma, küçük ve orta ölçekli teknoloji işletmeleri açısından önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Seru yapısının kısa çevrim süreleri, düşük stok seviyeleri ve yüksek iş gücü uyumu sayesinde işletme sermayesi üzerindeki baskıyı azalttığı; buna karşılık sabit konumlu üretim sistemlerinin daha durağan fakat daha öngörülebilir bir üretim yapısı sunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yerli ve ithal tedarik stratejilerinin üretim performansı ve finansal göstergeler üzerindeki etkileri senaryo bazlı olarak incelenmiştir. Böylece tedarik zinciri politikalarının işletme büyümesi, maliyet yapısı ve nakit akışı üzerindeki yansımaları karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Bu bağlamda çalışma, üretim sistemleri, stok stratejileri ve finansal sürdürülebilirlik kavramlarını bir arada ele alarak; işletmelerin üretim planlaması, stok yönetimi ve finansal karar süreçlerinde kullanılabilecek bütüncül bir analiz çerçevesi sunmaktadır.

1.3. Yöntem ve Vaka Çalışmasının Kurgusu

Bu çalışma, Afara Tarım Teknolojileri Anonim Şirketi tarafından geliştirilen Afara Tarım Robotunun üretim süreci üzerine yürütülmüş analitik bir vaka çalışması olarak tasarlanmıştır. Araştırmanın amacı, farklı üretim sistemlerinin (Yatai Seru ve Sabit Konumlu Hat Dengeleme) operasyonel ve finansal performans üzerindeki etkilerini bütüncül biçimde incelemektir.

Afara Tarım Robotu, pamuk hasadı sonrası tarlada yere dökülen pamukların görüntü işleme yöntemiyle tespit edilip, ardından vakumlu baca sistemleriyle yerden toplanmasını sağlayan otonom bir tarım robotudur. Bu sistem, tarımsal üretimde verimliliği artırmak, kayıpları azaltmak ve iş gücü maliyetlerini düşürmek amacıyla geliştirilmiştir.

Üretim süreci; mekanik, elektronik ve yazılım bileşenlerinin entegre biçimde yürütüldüğü çok-disiplinli bir yapıdadır. Bu nedenle, üretim yönetimi, stok planlaması, tedarik stratejileri ve finansal analiz açısından kapsamlı bir vaka örneği oluşturmaktadır.

Araştırmada iki farklı üretim modeli karşılaştırılmıştır:

1. Sabit Konumlu Hat Dengeleme Modeli,
2. Yatai Seru Üretim Modeli.

Her iki model de aynı ürünün üretim süreci üzerinden modellenmiş; üretim yapısındaki farkların süre, iş gücü kullanımı, stok seviyesi, malzeme akışı ve finansal göstergeler üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Analiz sürecinde, ürün ağacına (Bill of Materials – BOM) dayalı Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) yapısı oluşturulmuş ve dört farklı tedarik senaryosu tanımlanmıştır:

1. Senaryo 1: Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoksuz,
2. Senaryo 2: İthal – Stoksuz,
3. Senaryo 3: Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoklu,
4. Senaryo 4: İthal – Stoklu.

Bu senaryolar hem Yatai Seru hem de Sabit Konumlu Hat Dengeleme üretim modelleri altında ayrı ayrı uygulanmıştır. Her bir senaryo için;

- Üretim süreleri,
- Üretim çevrim süreleri,
- Birim maliyetler,
- Stok çevrim süresi (DIO),
- Malzeme çevrim süresi (MCT),
- Nakit çevrim süresi (CCC)

hesaplanmış ve performans göstergeleri karşılaştırılmıştır.

Araştırma üç temel aşamada yürütülmüştür:

1. Üretim Modelleme Aşaması: Afara Tarım Robotunun üretim faaliyetleri, akış yönü ve kaynak paylaşımı belirlenmiş; her iki model için hat dengeleme tabloları oluşturulmuştur.

2. MRP ve Maliyet Analizi Aşaması: Ürün ağacına göre stok politikaları, tedarik süreleri, maliyet bileşenleri, elde tutma maliyetleri ve sipariş verme maliyetleri tanımlanmış; dört tedarik senaryosu altında maliyet farklılıkları hesaplanmıştır.
3. Finansal Performans ve Çevrim Süresi Analizi Aşaması: Üretim süresi ve çevrim süreleri verilerinden hareketle, DIO, MCT ve CCC hesaplamaları yapılmış; işletme sermayesi ve finansal çevrim üzerindeki etkiler değerlendirilmiştir.

Bu yöntemsel yapı sayesinde, Afara Tarım Robotunun üretim süreci, üretim sistemi tercihi, tedarik stratejileri, stok politikaları ve finansal performans arasındaki ilişkilerin veri temelli biçimde incelendiği kapsamlı bir vaka çalışması olarak ele alınmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, üretim sistemleri, yalın üretim yaklaşımları, seru ve yatai modelleri, hat dengeleme teknikleri ve stok politikalarına ilişkin literatürdeki temel kavramlar ele alınmıştır. Literatür taraması, araştırmanın kavramsal temelini oluşturmakta ve vaka çalışmasında kullanılan yöntemsel çerçevenin dayandığı akademik altyapıyı ortaya koymaktadır.

2.1. Üretim Sistemleri

Üretim sistemleri, girdilerin belirli süreçler aracılığıyla çıktı hâline dönüştürüldüğü, insan, makine, malzeme, bilgi ve enerji unsurlarının bir araya geldiği bütünleşik yapılar olarak tanımlanmaktadır (Kobu, 2017). Temel amaç, müşteri taleplerini karşılamak üzere en uygun kaynak kullanımıyla ürün ve hizmet üretimini sağlamaktır. Üretim sistemleri, tarihsel gelişim süreci içinde teknolojik ilerlemelere ve pazar dinamiklerine bağlı olarak farklı yapılara evrilmiştir. Üretim sistemleri genel olarak tek parça üretim, parti tipi üretim, seri üretim, sürekli üretim ve proje tipi üretim olmak üzere beş ana grupta sınıflandırılmaktadır (Stevenson, 2020; Acar, 2020).

- Tek parça üretim, genellikle müşteri siparişine özel, düşük adetli ve yüksek esneklik gerektiren sistemlerdir. Bu tür üretim, bireysel beceriye ve iş gücü yoğunluğuna dayanır.
- Parti tipi üretim, aynı ürünün belirli miktarlarda ve belirli aralıklarla üretildiği sistemdir. Ayar ve geçiş sürelerinin optimize edilmesi bu tür üretimlerde önem taşır.
- Seri üretim, yüksek hacimli üretimlerin gerçekleştirildiği, standardizasyonun ön planda olduğu sistemdir. Çizelgeleme, hat dengeleme ve otomasyon bu sistemin temel unsurlarıdır (Groover, 2016).
- Sürekli üretim, üretim sürecinin kesintisiz biçimde sürdürüldüğü ve genellikle enerji, kimya veya gıda sektörlerinde görülen sistemdir (Üreten, 2019).
- Proje tipi üretim, ürünün sabit konumda kaldığı, montaj işlemlerinin ürün etrafında yürütüldüğü üretim biçimidir. Gemi, uçak, yapı ve büyük ölçekli makine imalatı buna örnek verilebilir (Kerzner, 2017).

Geleneksel üretim sistemleri, 20. yüzyıl boyunca kitle üretimine dayalı olarak verimlilik artışına odaklanmış; ancak müşteri taleplerindeki çeşitlilik ve pazar

dinamiklerindeki değişim, bu sistemlerin esneklik açısından yetersiz kalmasına yol açmıştır. Bu nedenle, yalın üretim, esnek üretim, hücresel üretim ve karışık model üretim gibi yeni sistem anlayışları geliştirilmiştir (Womack, Jones & Roos, 2007).

Modern üretim sistemlerinin temel amacı, üretim kaynaklarını etkin biçimde kullanırken, kaliteyi ve müşteri memnuniyetini artırmak, aynı zamanda maliyetleri minimize etmektir. Bu kapsamda işletmeler, üretim sistemlerinin tasarımını yalnızca fiziksel akışlara değil, aynı zamanda bilgi akışı ve iş gücü koordinasyonuna göre yeniden yapılandırmaktadır.

2.2. Yalın Üretim Yaklaşımları

Yalın üretim yaklaşımı, üretim sistemlerinde değer yaratmayan tüm faaliyetlerin ortadan kaldırılması ve süreçlerin müşteri beklentilerine en kısa sürede, en düşük maliyetle ve en yüksek kaliteyle cevap verecek şekilde düzenlenmesi prensibine dayanır. Bu kavram, II. Dünya Savaşı sonrasında Japonya’da gelişen Toyota Üretim Sistemi (Toyota Production System - TPS) modelinin evrimi olarak kabul edilmektedir. Toyota’nın “muda” olarak adlandırdığı israf kavramı, yalın üretimin temel çıkış noktası olmuştur (Ohno, 1988).

Yalın üretimin merkezinde, sürekli iyileştirme (kaizen), tam zamanında üretim (Just in Time), otokontrol (jidoka) ve insan odaklı süreç yönetimi gibi ilkeler yer almaktadır. Bu sistemde amaç, yalnızca üretim hızını artırmak değil; aynı zamanda üretim kaynaklarını dengeli biçimde kullanarak verimliliği ve esnekliği maksimize etmektir (Liker, 2004). Böylece üretim süreci boyunca gereksiz stok birikimi, bekleme süreleri ve taşıma maliyetleri azaltılırken, bilgi akışının ve iş gücü koordinasyonunun kesintisiz sürdürölmesi sağlanır. Yalın üretim, Batı’daki seri üretim yaklaşımına göre daha esnek, insan merkezli ve öğrenen bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Batı’daki klasik hat üretiminde iş bölümü keskin, görevler tekrarlı ve değişime kapalı iken; yalın üretimde iş gücü çoklu becerilere sahip olacak şekilde eğitilmekte ve çalışanlar üretim hattında karar alma süreçlerine aktif biçimde katılmaktadır (Womack, Jones & Roos, 2007). Bu anlayış, özellikle küçük parti üretimlerinde ve değişken talep koşullarında sistemin rekabet gücünü artırmaktadır. Yalın düşüncenin başarısında bilgi akışının şeffaflığı ve üretim akışının dengelenmesi (Heijunka) önemli bir rol oynamaktadır. Heijunka prensibi, talep dalgalanmalarına rağmen üretim hattında istikrarlı bir akış sağlamak için kapasite planlamasının esnek biçimde düzenlenmesini önerir. Bu durum, günümüz rekabetçi üretim ortamlarında, kaynak

kullanım verimliliği ve iş gücü optimizasyonu açısından kritik bir avantaj yaratmaktadır (Hines, Holweg & Rich, 2004).

Türkiye’de yapılan çalışmalarda da yalın üretim uygulamalarının işletmelerde önemli performans iyileştirmeleri sağladığı görülmektedir. Özellikle otomotiv, tekstil ve makine imalat sektörlerinde yapılan araştırmalar, yalın dönüşümün üretim maliyetlerini düşürdüğünü, çevrim sürelerini kısalttığını ve kalite göstergelerini iyileştirdiğini ortaya koymuştur (Yalçinkaya, 2019; Akbulut, 2021). Ayrıca son yıllarda yalın üretim, Endüstri 4.0 uygulamalarıyla bütünleştirilerek “Yalın 4.0” kavramı altında daha dijital, veri odaklı ve otonom hale getirilmektedir (Buer, Strandhagen & Chan, 2018). Yalın üretim sistemleri, genel olarak sabit ve katı hat düzenlerinden uzaklaşarak, hücresel üretim, seru sistemi ve yatai modeli gibi esnek yapılarla bütünleşmektedir. Bu sistemlerde amaç hem insan faktörünün deneyiminden yararlanmak hem de değişken talep koşullarında üretim akışını hızlı biçimde yeniden düzenleyebilmektir. Bu nedenle yalın üretim, yalnızca bir üretim tekniği değil; aynı zamanda işletme kültürü, organizasyon yapısı ve stratejik düşünme biçimi olarak değerlendirilmektedir (Hines et al., 2004; Liker, 2004).

2.3. Seru Üretim Sistemi ve Yatai Modeli

Seru üretim sistemi, Japonya’da 1990’lı yıllarda Sony Corporation tarafından geliştirilen, yüksek esneklik ve insan merkezli üretim anlayışına dayalı bir sistemdir. “Seru” kelimesi Japonca’da “hücre” anlamına gelmekte olup, sistem, geleneksel üretim hatlarının yerini alan modüler ve otonom üretim hücrelerinden oluşmaktadır (Fujimoto, 2007). Bu sistem, müşteri taleplerinin çeşitlenmesi, ürün yaşam döngülerinin kısalması ve iş gücü maliyetlerinin artması gibi nedenlerle, klasik hat üretiminin yetersiz kaldığı ortamlarda geliştirilmiştir. Seru üretim sistemi, yalın üretim felsefesinden türemekle birlikte, daha dinamik, yeniden yapılandırılabilir ve insan becerisine dayalı bir üretim biçimi sunar. Geleneksel hat sisteminde üretim süreci birçok istasyona bölünmüş olup her işçi yalnızca belirli bir görevi yerine getirirken; seru sisteminde bir grup işçi veya tek bir çalışan, ürünün neredeyse tamamını monte edebilmektedir (Yamamoto, 2013). Bu yönüyle sistem hem çoklu beceri gelişimini hem de sorumluluk bilincini teşvik etmektedir.

Seru sistemi üç temel biçimde sınıflandırılmaktadır: Divisional Seru, Yatai Seru ve Collaborative Seru.

- Divisional Seru, klasik montaj hattından seru düzenine geçişin ilk adımıdır. İşler küçük modüller hâline getirilir ve her modül bir mini-hat gibi davranır.

- Yatai Seru, tek bir işçinin ürünü baştan sona monte ettiği, en yalın ve bireysel üretim biçimidir.
- Collaborative Seru ise birden fazla çalışanın belirli görevleri paylaşarak birlikte üretim yaptığı takım tabanlı bir düzeni ifade eder (Suzaki, 2010).

Yatai modeli, Japonya'daki küçük ölçekli işletmelerde ve yüksek çeşit–düşük hacim üretim ortamlarında en etkili model olarak görülmektedir. Tek bir işçinin sürecin tüm aşamalarından sorumlu olması hem esnek üretim planlaması hem de kalite kontrolünün doğrudan takibi açısından büyük avantaj sağlar. Ayrıca bu model, üretim süreçlerinde öğrenme eğrisini hızlandırmakta ve işçi motivasyonunu artırmaktadır (Fujimoto & Shimizu, 2009).

Seru sisteminin en dikkat çekici yönlerinden biri, süreç içi israfın (muda) neredeyse tamamen ortadan kaldırılmasıdır. Üretim hattının modüler birimlere ayrılması sayesinde, hat dengeleme problemleri en aza indirilmekte, ara stoklar azaltılmakta ve malzeme akışı sadeleşmektedir. Ayrıca sistem, çekme tipi üretim (pull system) mantığıyla çalıştığından, üretim yalnızca müşteri talebi geldiğinde başlatılır. Bu durum hem stok seviyelerini düşürmekte hem de çevrim sürelerini kısaltmaktadır (Ueda, Takenaka, & Fujii, 2012).

Yatai Seru modeli, özellikle esnek üretim planlaması, iş gücü dengelemesi ve kapasite yönetimi konularında literatürde geniş biçimde incelenmiştir. Araştırmalar, bu sistemin klasik hat üretimine kıyasla üretim verimliliğini %20–40 oranında artırabildiğini göstermektedir (Ohno, 2018; Sugimori et al., 2020). Ancak sistemin en önemli başarısı, yalnızca nicel verimlilik artışı değil, aynı zamanda organizasyonel öğrenme kültürünü güçlendirmesidir. İşçiler üretim sürecini bütünsel olarak algıladıkları için problem çözme ve sürekli iyileştirme (kaizen) süreçlerine aktif olarak katılmaktadırlar.

2.4. Hat Dengeleme ve Üretim Verimliliği

Hat dengeleme, üretim sistemlerinde iş yükünün iş istasyonları arasında dengeli biçimde dağıtılmasını amaçlayan temel bir planlama problemidir. Montaj hatlarında faaliyetlerin doğru biçimde atanması, üretim hattının genel verimliliğini ve çevrim süresini doğrudan etkiler (Boysen, Fliedner & Scholl, 2007). Hat dengesizliği, istasyonlar arasında bekleme sürelerinin oluşmasına ve bu nedenle toplam üretim süresinin uzamasına yol açmaktadır. Bu durum, özellikle yüksek ürün çeşitliliği ve düşük hacimli üretim yapan işletmelerde daha belirgin hâle gelir (Scholl & Becker, 2006). Yalın üretim anlayışının

gelişimiyle birlikte, hat dengeleme yalnızca görev sürelerinin eşitlenmesiyle sınırlı bir faaliyet olmaktan çıkmıştır. Günümüzde hat dengeleme; malzeme akışının sürekliliği, iş gücü esnekliği, kaynak kullanım oranı ve akış verimliliği gibi çok boyutlu performans göstergelerini de içermektedir (Miltenburg, 2001). Bu bağlamda, üretim sistemlerinin tasarımında kullanılan yöntem, hat dengelemenin başarısını doğrudan belirleyen bir unsur hâline gelmiştir.

Klasik hat yapısında her işçi belirli bir istasyonda, önceden tanımlı görevleri yerine getirir. Bu tür sistemler genellikle sabit görevli, akış yönü tek yönlü ve iş sırası katı biçimde tanımlanmış yapılardır. İş yükü dengesizlikleri, hattın genel çevrim süresini belirleyen darboğaz istasyonlarında birikir ve bu durum hem kapasite kullanımını hem de üretim planlamasını olumsuz etkiler (Kerzner, 2017).

Seru tipi üretim sistemleri ve Yatai modeli ise, hat dengelemeye farklı bir bakış açısı getirmiştir. Bu modellerde üretim, birbirinden bağımsız küçük hücrelerde (Seru) veya bireysel iş istasyonlarında (Yatai) yürütülür. Çalışanlar bir ürünün tüm montaj sürecini ya da büyük bir bölümünü üstlenir. Böylece, klasik hat sistemlerindeki görev bağımlılıkları ortadan kalkar, hat içi akışlar sadeleşir ve dinamik iş gücü dağılımı sağlanır (Ueda et al., 2012). Bu yaklaşım, operasyonel esnekliği artıran bir hat dengeleme biçimi olarak değerlendirilmektedir. Talep değişimlerine veya ürün çeşitliliğine göre hücre sayısı, çalışan sayısı ya da görev dağılımı hızlı biçimde değiştirilebilir. Böylece sistem, talep dalgalanmalarına karşı esnek bir yapı kazanır. Özellikle proje tipi montaj süreçlerinde, üretim birimlerinin ölçeklenebilir olması maliyet ve zaman açısından avantaj sağlamaktadır (Fujimoto, 2007; Yamamoto, 2013).

Hat dengeleme performansı literatürde genellikle üç temel göstergeyle analiz edilmektedir:

1. Hat Dengeleme Verimliliği (Line Efficiency): İstasyon sürelerinin toplam çevrim süresine oranı.
2. Atıl Süre Oranı (Idle Time Ratio): İş gücünün bekleme süresine dayalı verim kaybı oranı.
3. Üretim Akış Oranı (Flow Rate): Görevlerin kesintisiz akış oranı ve üretim hızının ölçüsü.

Sabit konumlu montaj sistemlerinde hat dengeleme, malzeme yerleşimi ve görev sıralamasına bağlıdır; çünkü ürün sabit kalırken, iş gücü ve ekipman ürün etrafında hareket eder. Bu sistemler, büyük ölçekli ürünlerin üretimi için uygundur ancak akışın sabit olması

nedeniyle esneklik sınırlıdır. Buna karşın, Yatai tipi üretim yapısında işçi sabit kalmakta ve üretim sürecinin büyük kısmını tek başına gerçekleştirmektedir. Böylece, taşıma süresi azalmakta, malzeme akışı sadeleşmekte ve atıl süreler minimize edilmektedir (Suzaki, 2010).

Seru–Yatai yaklaşımı, klasik hat dengeleme kavramını yeniden yorumlayarak, iş gücü merkezli bir model sunmaktadır. Bu sistemlerde verimlilik, istasyon bazlı denge yerine bireysel iş akışının optimizasyonu ile sağlanır. Literatürde yapılan araştırmalar, bu yaklaşımın çevrim süresini azaltarak üretim hızını artırabileceğini göstermektedir (Miltenburg, 2001; Sugimori et al., 2020). Ancak bu sistemlerin uygulanabilirliği, çoklu beceriye sahip iş gücü, yeterli eğitim ve uygun iş ölçüm yöntemlerinin varlığına bağlıdır.

Hat dengeleme kavramı, bu yönüyle yalnızca teknik bir çizelgeleme süreci değil; üretim sisteminin genel esnekliğini, kaynak kullanım etkinliğini ve operasyonel verimliliğini belirleyen stratejik bir unsurdur.

2.4.1. Sabit Konumlu Montajda Hat Dengeleme

Sabit konumlu montaj, ürünün üretim süreci boyunca sabit kaldığı ve iş gücü, ekipman veya malzemenin ürün etrafında hareket ettiği üretim biçimidir. Bu sistem genellikle büyük boyutlu, taşınması zor veya karmaşık montaj süreçleri gerektiren ürünlerin üretiminde tercih edilmektedir. Uçak, gemi, ağır inşaat ekipmanları ve büyük ölçekli tarım makineleri gibi ürünler bu gruba dâhildir (Kerzner, 2017). Bu üretim sisteminde hat dengeleme, klasik anlamda ardışık istasyon düzenine dayanmadığından, görevlerin farklı uzmanlık alanlarına göre planlanmasıyla sağlanır. Her işçi veya ekip, ürün üzerinde belirli bir alan veya alt sistemden sorumludur. Dolayısıyla hat dengeleme, fiziksel hat üzerinde görev dağılımından ziyade, iş akışı, görev sıralaması ve kaynak yerleşimi üzerinden yürütülür (Scholl & Becker, 2006).

Sabit konumlu sistemlerde verimliliği etkileyen en önemli faktörlerden biri, malzeme yerleşim planlamasıdır. Ürün etrafında gerçekleştirilen montaj faaliyetlerinde, malzemelerin doğru konumlandırılması ve zamanında sağlanması üretim süresini doğrudan etkiler (Eren & Çakır, 2021). Ayrıca, her teknisyenin kendi uzmanlık alanında çalışması iş gücü verimliliğini artırsa da faaliyetler arası bağımlılıklar nedeniyle bekleme süreleri (idle time) ortaya çıkabilir. Bu durum, özellikle çok disiplinli montaj süreçlerinde koordinasyon zorluklarına yol açar. Hat dengeleme performansının artırılması için, bu sistemlerde çoğunlukla Kritik Yol Yöntemi (CPM) veya Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme

Tekniği (PERT) gibi proje tabanlı zaman planlama yöntemleri kullanılmaktadır (Heizer, Render & Munson, 2020). Bu yöntemler, görevlerin sürelerine ve bağımlılık ilişkilerine göre toplam üretim süresini en aza indirmeyi hedefler. Özellikle üretim süreci uzun ve karmaşık olan ürünlerde, bu tür yöntemler darboğazların tespitinde etkili olmaktadır.

Sabit konumlu üretim sisteminde hat dengeleme zorlukları üç temel başlıkta toplanabilir:

1. Görevlerin bağımlılığı: Bir görevin tamamlanması diğer bir görevin başlamasına bağlı olabilir. Bu durum, üretim akışını yavaşlatır.
2. Alan sınırlamaları: Ürün etrafında çalışan birden fazla ekibin eşzamanlı çalışması için yeterli fiziksel alan bulunmayabilir.
3. Malzeme akışı ve tedarik: Ürün sabit kaldığı için malzemelerin üretim alanına zamanında taşınması kritik önem taşır.

Bu zorluklara rağmen, sabit konumlu montaj sistemi yüksek kalite kontrolüne olanak sağlar. İş gücünün belirli uzmanlık alanlarında çalışması, hata oranlarını azaltır. Ayrıca büyük ölçekli ürünlerde üretim sürecinin izlenmesi ve proje bazlı ilerleme takibi bu sistemde daha kolaydır (Miltenburg, 2001). Ancak bu avantajlar, üretim süresinin uzaması ve maliyetlerin artması gibi dezavantajları da beraberinde getirir. Literatürde yapılan çalışmalar, sabit konumlu sistemlerin esneklik bakımından sınırlı olduğunu, ancak kalite kontrol ve ürün bütünlüğü açısından üstünlük sağladığını göstermektedir (Fujimoto, 2007). Özellikle büyük ölçekli projelerde bu sistemin tercih edilme nedeni, üretim sürecinin her aşamasında detaylı izleme ve denetim yapılabilmesidir.

Günümüzde dijital üretim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, sabit konumlu sistemlerde de dijital ikiz (digital twin) ve sanal montaj uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojiler, üretim planlaması aşamasında hat dengeleme simülasyonlarının yapılmasına ve üretim sürelerinin önceden tahmin edilmesine imkân tanımaktadır. Böylece sabit konumlu sistemler, geleneksel yapısına rağmen dijitalleşme ile daha yönetilebilir ve optimize edilebilir hâle gelmiştir (Xu, Xu & Li, 2018). Sabit konumlu montaj sistemlerinin genel değerlendirmesi, bu yapının özellikle büyük ölçekli, düşük hacimli ve yüksek karmaşıklığa sahip ürünler için uygun olduğunu ortaya koymaktadır. İş gücü koordinasyonu, malzeme akışı ve görev sürelerinin doğru planlanması hâlinde, sistemin kalite açısından sunduğu avantajlar üretim süresi maliyetlerini dengeleyebilmektedir. Ancak yüksek ürün çeşitliliği ve hızlı teslimat gerektiren

üretimlerde, sabit konumlu yapının esneklik yetersizliği önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır.

2.5. Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP)

Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirements Planning – MRP), üretim sürecinde gerekli malzemelerin, bileşenlerin ve yarı mamullerin hangi zamanda ve hangi miktarda temin edilmesi gerektiğini belirleyen sistematik bir planlama yaklaşımıdır. MRP'nin temel amacı, stok düzeylerini minimumda tutarken üretim faaliyetlerinin kesintisiz sürmesini sağlamaktır (Orlicky, 1975). MRP sistemi, özellikle karmaşık ürün yapısına sahip endüstrilerde (örneğin makine, otomotiv, elektronik veya tarım teknolojileri üretimi) üretim sürecinin zamanında ve koordineli yürütülmesini destekleyen stratejik bir araçtır. Bu yöntem, üretim planlamasında kullanılan Ürün Ağacı (Bill of Materials – BOM), Ana Üretim Çizelgesi (Master Production Schedule – MPS) ve Stok Kayıt Dosyası (Inventory Status File – ISF) gibi temel girdilere dayanır (Vollmann et al., 2005).

Ürün ağacı, nihai ürünün hangi alt bileşenlerden oluştuğunu ve bu bileşenlerin üretim veya tedarik ilişkilerini gösteren hiyerarşik bir yapıdır. Bu yapı sayesinde her bileşen için gerekli malzeme miktarları, üretim sıralaması ve zaman planı net biçimde hesaplanabilir (Stevenson, 2020). Ana üretim çizelgesi, hangi ürünün hangi dönemde üretileceğini belirlerken, stok kayıt dosyası mevcut envanter düzeyini ve tedarik sürelerini içerir. Bu üç unsurun bütünleşik biçimde kullanımı, MRP'nin başarısı için kritik öneme sahiptir.

MRP sistemi, planlama sürecini üç temel fonksiyon üzerinden yürütür:

1. Net İhtiyaç Hesaplama (Netting): Mevcut stoklar ve açık siparişler dikkate alınarak her bileşen için net malzeme gereksinimi hesaplanır.
2. Zamanlama (Lot Scheduling): Her bir bileşenin tedarik veya üretim süresi göz önünde bulundurularak, siparişlerin hangi tarihte verilmesi gerektiği belirlenir.
3. Kapasite Kontrolü (Capacity Planning): Üretim kaynaklarının (iş gücü, makine, ekipman) planlanan talebi karşılayıp karşılayamayacağı analiz edilir.

Bu aşamalar sonucunda, üretim süreci boyunca malzeme akışının dengeli ve zamanında gerçekleşmesi sağlanır. MRP sisteminin sağladığı en büyük avantaj, önleyici planlama (proactive scheduling) yaklaşımıyla stok fazlalıklarını azaltırken üretim sürekliliğini güvence altına almasıdır (Fogarty, Blackstone & Hoffmann, 1991). MRP'nin etkinliği,

sistemin parametrelerinin doğruluğuna ve güncelliğine bağlıdır. Yanlış tedarik süresi veya stok miktarı verisi, tüm planlamayı olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle MRP uygulamalarında veri bütünlüğü, bilgi teknolojileri entegrasyonu ve geri bildirim mekanizmaları büyük önem taşır (Ptak & Smith, 2011). Modern üretim sistemlerinde MRP, gelişmiş sürümleriyle birlikte kullanılmaktadır. MRP II (Manufacturing Resource Planning), sadece malzeme planlamasını değil, aynı zamanda iş gücü, makine, finansman ve kapasite planlamasını da kapsayan entegre bir yapı sunmaktadır (Vollmann et al., 2005). Günümüzde ERP (Enterprise Resource Planning) sistemleri, MRP II'nin doğal uzantısı olarak değerlendirilmekte ve işletme içindeki tüm kaynakların bütüncül biçimde yönetilmesini sağlamaktadır (Monk & Wagner, 2012).

Yalın üretim, hücresele üretim ve Seru tipi sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, klasik MRP yapıları da esnekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Dinamik MRP (Dynamic MRP) veya Talep Tabanlı MRP (DDMRP) yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu sistemler, geleneksel MRP'nin sabit çizelge mantığını esnek tampon bölgeleri ve gerçek zamanlı talep sinyalleriyle destekleyerek, talep dalgalanmalarına daha hızlı tepki verilmesini sağlar (Ptak & Smith, 2016). Akademik literatürde yapılan çalışmalar, MRP'nin sadece planlama aracı değil, aynı zamanda üretim stratejisinin etkinliğini artıran bir karar destek sistemi olduğunu göstermektedir (Fogarty et al., 1991; Stevenson, 2020). MRP'nin başarılı uygulanması; stok kontrolü, tedarik zinciri yönetimi, iş gücü planlaması ve üretim çevrim süresinin optimizasyonu açısından önemli bir rekabet avantajı yaratmaktadır.

2.6. Stok Politikaları (Stoklu/Stoksuz)

Stok politikaları, işletmelerin üretim ve tedarik süreçlerinde hangi düzeyde envanter tutacağına, ne zaman sipariş vereceğine ve malzeme temin sıklığına ilişkin stratejik kararlarını tanımlar. Temel amaç, müşteri talebini karşılamak için gerekli hizmet seviyesini sağlarken stok bulundurma maliyetlerini minimize etmektir (Arnold, Chapman & Clive, 2012). Stok yönetimi, işletmenin hem operasyonel hem de finansal performansını doğrudan etkileyen kritik bir süreçtir. Fazla stok, sermayenin gereksiz yere envantere bağlanmasına neden olurken; yetersiz stok, üretim gecikmeleri ve müşteri memnuniyetsizliği gibi riskleri beraberinde getirir. Bu nedenle, stok politikalarının belirlenmesinde talep tahminleri, tedarik süresi, üretim planı ve nakit akışı gibi faktörler birlikte değerlendirilir (Silver, Pyke & Thomas, 2017). Stok politikaları genel olarak iki temel yaklaşıma ayrılmaktadır: stoklu üretim (Make to Stock – MTS) ve stoksuz üretim (Make to Order – MTO).

Stoklu Üretim (Make to Stock – MTS)

Stoklu üretim sisteminde, üretim faaliyetleri müşteri talebinden bağımsız olarak önceden planlanır ve ürünler stokta hazır tutulur. Bu yaklaşım, talebin öngörülebilir olduğu ve üretim sürelerinin uzun olduğu sektörlerde tercih edilir. Temel avantajı, müşteri teslimat süresini kısaltması ve üretim hattının kapasite kullanımını optimize etmesidir (Stevenson, 2020). Ancak stoklu üretim, elde tutma maliyetleri, depolama giderleri ve bozulma/eskime riski gibi ek yükler doğurur. Özellikle teknoloji ve mühendislik tabanlı ürünlerde stokta kalan bileşenlerin hızla değer kaybetmesi, finansal sürdürülebilirlik açısından ciddi bir dezavantaj oluşturabilir (Wild, 2017).

Stoksuz Üretim (Make to Order – MTO)

Stoksuz üretim yaklaşımında ise üretim, müşteri siparişinin alınmasıyla birlikte başlar. Bu sistemde stok düzeyi minimumdur; dolayısıyla sermaye daha az bağlanır ve ürünler müşteri taleplerine göre özelleştirilebilir (Arnold et al., 2012). MTO sistemi, özellikle karmaşık ve düşük hacimli ürünlerin üretiminde yüksek esneklik sağlar. Bununla birlikte, stoksuz üretim uzun tedarik sürelerine ve teslimat gecikmelerine neden olabilir. Bu nedenle MTO stratejisinde tedarikçi güvenilirliği, malzeme tedarik süresi ve planlama doğruluğu kritik öneme sahiptir. İşletmeler genellikle MTO süreçlerinde, MRP sistemleri aracılığıyla malzeme temin zamanını optimize etmeye çalışırlar (Ptak & Smith, 2011).

Karşılaştırmalı Değerlendirme

Stoklu ve stoksuz üretim stratejileri arasında temel fark, riskin konumu ve sermaye bağlama noktasındadır. Stoklu sistemde risk, üretici üzerindedir; üretilen ürün stokta bekler. Stoksuz sistemde ise risk müşteri tarafına kayar; teslim süresi uzar ancak finansal risk azalır (Silver et al., 2017). Son yıllarda işletmeler, bu iki uç model arasında karma stratejiler (Hybrid Systems) geliştirmektedir. Bu sistemlerde, bazı bileşenler stokta hazır tutulurken (örneğin kritik parçalar), nihai ürün montajı siparişe göre yapılmaktadır. Böylece hem teslimat süresi kısaltmakta hem de stok maliyetleri dengelenmektedir (Christopher, 2016). Ayrıca, dijital üretim teknolojileri ve gerçek zamanlı veri akışı sayesinde talep bazlı stok politikaları (Demand-Driven Inventory) daha yaygın hâle gelmiştir. Bu sistemler, üretim hattını doğrudan talep sinyallerine bağlayarak stok tamponlarını optimize eder ve gereksiz malzeme birikimini önler (Ptak & Smith, 2016).

2.6.1. Yerli ve İthal Tedarik Farklılıkları

Tedarik stratejileri, üretim sistemlerinin maliyet, teslim süresi ve çevrim performansı üzerinde doğrudan belirleyici etkiye sahiptir. İşletmelerin yerli veya ithal tedarik seçenekleri arasındaki tercihleri, yalnızca fiyat farklılıklarıyla değil; aynı zamanda teslim süresi, kalite güvenilirliği, döviz kuru riski ve tedarik zinciri sürekliliği gibi çok boyutlu faktörlerle şekillenmektedir (Christopher, 2016).

Yerli tedarik, genellikle kısa tedarik süreleri, düşük lojistik riski ve yüksek iletişim hızı avantajı sunar. Bu durum, özellikle talep değişkenliğinin yüksek olduğu sektörlerde üretim planlamasında esneklik sağlar (Erkan & Kara, 2020). Ancak yerli üreticilerin hammadde maliyetlerinin yüksekliği ve ölçek ekonomilerinden sınırlı yararlanmaları nedeniyle, birim fiyatlar genellikle ithal ürünlere kıyasla daha yüksektir (Kabak & Ulengin, 2011).

İthal tedarik ise çoğu durumda daha düşük birim maliyet avantajı sağlarken, uzun tedarik süreleri ve döviz kuru dalgalanmalarına karşı hassasiyet dezavantajlarını beraberinde getirir. Ayrıca ithalat süreçleri; gümrükleme, taşıma, sigorta ve teslimat süresi belirsizlikleri nedeniyle zaman planlamasında risk yaratabilir (Ballou, 2007). Özellikle savunma, otomotiv ve tarım makineleri gibi yüksek hassasiyetli üretimlerde, ithal parçaların gecikmesi tüm montaj sürecini olumsuz etkileyebilir. Bu bağlamda, tedarik stratejilerinin seçiminde temel denge, maliyet ile zaman arasındadır.

- Yerli tedarik sistemleri, kısa teslim süresiyle üretim çevrimini hızlandırırken maliyetleri artırabilir.
- İthal tedarik sistemleri ise düşük maliyetli bileşen sunarken, uzun tedarik süresi nedeniyle çevrim süresini uzatabilir (Vollmann et al., 2005).

Bu fark, MRP sistemlerinde doğrudan planlama değişkeni olarak ele alınır. Tedarik süresi (lead time) parametresi, malzemenin üretim planına dahil edilme zamanını belirlediği için, ithal girdilerde hatalı planlama doğrudan teslimat gecikmesine neden olur (Ptak & Smith, 2011). Bu nedenle MRP uygulamalarında ithal ve yerli tedarikler için farklı sipariş serbest bırakma zamanları (release time) tanımlanır. Yerli ve ithal tedarik farkları yalnızca üretim planlaması üzerinde değil, aynı zamanda işletme finansmanı üzerinde de etkilidir. Yerli tedarikçiler genellikle vadeli ödeme koşulları (örneğin 15–30 gün) sunarken, ithal tedariklerde ödemeler genellikle peşin veya akreditifli yapılmaktadır. Bu durum, çalışma sermayesi yönetimi ve nakit çevrim süresi (CCC) üzerinde doğrudan bir fark yaratır. Yerli

tedarikte pozitif nakit akışı korunabilirken, ithal tedarikte nakit bağlanma süresi artar (Deloof, 2003). Yapılan akademik çalışmalar, işletmelerin çoğunlukla hibrit bir tedarik modeli benimseyerek bu iki strateji arasındaki risk–maliyet dengesini optimize etmeye çalıştıklarını göstermektedir (Monczka, Handfield, Giunipero & Patterson, 2015). Bu modelde kritik ve uzun tedarik süresine sahip parçalar yerli tedarikten karşılanırken, standart bileşenler daha düşük maliyetli ithal kaynaklardan temin edilir. Böylece üretim sürekliliği korunurken toplam maliyet avantajı elde edilir (Kabak & Ulengin, 2011).

2.7. Çevrim Süreleri ve Döngü Metrikleri

Üretim ve tedarik zinciri yönetiminde çevrim süreleri, işletmelerin operasyonel verimliliğini ve finansal performansını ölçmede en önemli göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir. Çevrim süresi kavramı, genel olarak bir sürecin başlangıcı ile sonu arasında geçen toplam zamanı ifade etmektedir. Literatürde stok çevrim süresi, malzeme çevrim süresi ve nakit çevrim süresi işletmelerin hem üretim hem de finansal etkinliklerini değerlendirmek için kullanılan başlıca ölçütlerdir (Richards & Laughlin, 1980; Christopher, 2016).

Stok çevrim süresi, elde bulunan stokların ne kadar sürede tükendiğini ve yenilendiğini gösteren bir ölçüttür. Bu metrik, stok devir hızı (inventory turnover ratio) üzerinden hesaplanmakta ve stok yönetiminde verimliliği yansıtmaktadır. Daha kısa stok çevrim süresi, sermayenin stoklara daha az bağlandığını, dolayısıyla nakit akışının hızlandığını göstermektedir (Silver et al., 1998).

Malzeme çevrim süresi, hammaddelerin üretim sürecine girişinden nihai ürün olarak çıkışına kadar geçen süreyi ifade etmektedir. Bu ölçüt, üretim hattının etkinliği, darboğazların varlığı ve iş akışındaki kesintilerin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır (Slack et al., 2016). Malzeme çevrim süresinin uzun olması, üretim sisteminde beklemelerin arttığını ve kapasite kullanımında sorunlar yaşandığını gösterebilir.

Nakit çevrim süresi (cash conversion cycle – CCC) ise finansal bir gösterge olup, işletmenin nakit çıkışı ile nakit girişi arasındaki zaman farkını ölçmektedir. Başka bir ifadeyle, işletmenin stoklarını ve alacaklarını nakde dönüştürme süresinden borç ödeme süresi çıkarılarak hesaplanmaktadır (Richards & Laughlin, 1980). Daha kısa nakit çevrim süresi, işletmenin likiditesinin güçlü olduğunu ve finansal kaynaklarını daha etkin kullandığını göstermektedir (Lamberson, 1995).

Literatürde çevrim sürelerinin kısaltılmasının işletmelere sağladığı faydalar arasında sermaye maliyetlerinin azalması, müşteri hizmet seviyesinin artması, finansal risklerin düşmesi ve operasyonel verimliliğin yükselmesi bulunmaktadır (Christopher, 2016; Vollmann et al., 2005). Ancak çevrim sürelerini aşırı kısaltma çabaları, güvenlik stoklarının azalmasına, tedarikçi risklerinin artmasına ve müşteri teslimatlarında gecikmelere yol açabileceğinden dengeli bir strateji gerektirmektedir.

2.7.1. Stok Çevrim Süresi

Stok çevrim süresi (Days Inventory Outstanding – DIO), işletmenin stoklarını ne kadar sürede tüketip yenilediğini gösteren ve stok yönetimi performansının ölçülmesinde kullanılan temel bir göstergedir. Finans ve üretim literatüründe stok çevrim süresi, stokların belirli bir dönemde kaç kez devredildiğini gösteren stok devir hızı (Inventory Turnover Ratio) kavramı üzerinden türetilir (Silver, Pyke, & Peterson, 1998). Stok devir hızı, belirli bir dönemde satılan malın maliyetinin (COGS) aynı döneme ait ortalama stok tutarına oranı ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Stok Devir Hızı} = \frac{\text{Satılan Malın Maliyeti (COGS)}}{\text{Ortalama Stok}}$$

Bu oranın tersi alınarak stok çevrim süresi gün bazında ifade edilir (Brigham & Ehrhardt, 2013):

$$DIO = \frac{365}{\text{Stok Devir Hızı}} = \frac{\text{Ortalama Stok}}{\text{Satılan Malın Maliyeti}} \times 365$$

Burada,

- Ortalama Stok, dönem başı ve dönem sonu stoklarının aritmetik ortalamasını ifade eder.
- Satılan Malın Maliyeti (COGS), aynı dönemde satışa konu olan stokların üretim veya tedarik maliyetini gösterir.

Kısa stok çevrim süresi, stokların hızlı devredildiğini ve stoklara bağlanan sermayenin az olduğunu; uzun stok çevrim süresi ise stokların yavaş devredildiğini ve işletme sermayesinin daha uzun süre envantere tutulduğunu göstermektedir (Christopher, 2016). Hesaplamalarda ortalama stok değerinin belirlenmesinde kullanılan envanter değerlendirme

yöntemi (FIFO, LIFO veya Ağırlıklı Ortalama) sonuçlar üzerinde doğrudan etkilidir. Dönemsel talep dalgalanmalarının görüldüğü sektörlerde, mevsimsellik etkilerini azaltmak amacıyla hareketli ortalama veya çeyreklik bazlı stok analizleri önerilmektedir (Vollmann, Berry, Whybark, & Jacobs, 2005).

Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) literatüründe stok çevrim süresi, güvenlik stoğu düzeyi, parti büyüklüğü, tedarik süresi ve üretim frekansı gibi parametrelerin değişimine duyarlıdır (Ptak & Smith, 2011). Bu nedenle DIO değeri, üretim sisteminin operasyonel akış hızını ve sermaye kullanım etkinliğini birlikte temsil eden bir göstergedir.

2.7.2. Malzeme Çevrim Süresi

Malzeme çevrim süresi (Manufacturing Cycle Time / Flow Time), bir üretim sisteminde girdilerin üretim sürecine girişinden nihai ürün olarak tamamlanmasına kadar geçen toplam süreyi ifade eder. Bu süre, üretim sisteminin akış etkinliğini ve operasyonel performansını değerlendirmek için kullanılan temel bir göstergedir (Blackstone, 2013). Malzeme çevrim süresi, üretim sürecinde yer alan dört ana bileşenin toplamı olarak tanımlanmaktadır:

$$T_{\text{çevrim}} = T_{\text{işlem}} + T_{\text{bekleme}} + T_{\text{taşıma}} + T_{\text{inceleme}}$$

Burada:

- $T_{\text{işlem}}$ (Processing Time): Üretim istasyonlarında bir parçanın üzerinde doğrudan işlem yapıldığı süredir.
- T_{bekleme} (Queue Time): Parçaların işlem sırası beklediği veya üretim istasyonları arasında bekleme yaptığı süredir.
- $T_{\text{taşıma}}$ (Move Time): Parçaların üretim istasyonları arasında taşındığı süredir.
- T_{inceleme} (Inspection/Setup Time): Parçaların kontrol, ayar veya hazırlık süreçlerinde geçen süredir.

Bu bileşenlerin toplamı, bir ürünün üretim sürecinde sistem içinde geçirdiği toplam süreyi (Flow Time) vermektedir.

Üretim sistemleri kuramında bu kavram, Little Yasası (Little's Law) çerçevesinde sistemdeki ortalama iş miktarı (Work-In-Process – WIP) ile çıktı oranı (Throughput) arasındaki ilişki üzerinden de ifade edilmektedir (Hopp & Spearman, 2011):

$$T_{\text{çevrim}} = \frac{WIP}{Throughput}$$

Bu formüle göre:

- WIP, üretim hattında aynı anda işlemde veya beklemede olan ortalama parça sayısını,
- Throughput, birim zamanda sistemden çıkan ürün miktarını (örneğin adet/gün veya adet/saat) göstermektedir.

Dolayısıyla, sistemdeki ortalama iş miktarı arttığında veya çıktı oranı azaldığında malzeme çevrim süresi uzar. Bu nedenle, çevrim süresinin kısaltılması çoğunlukla darboğazlarda kapasitenin artırılması, iş akışındaki senkronizasyonun iyileştirilmesi ve WIP seviyesinin optimize edilmesiyle mümkündür (Hopp & Spearman, 2011).

Malzeme çevrim süresi üretim sisteminin yapısına bağlı olarak farklı karakteristikler gösterebilir. Örneğin sabit konumlu montaj sistemlerinde ürün sabit kalırken personel ve ekipman hareket ettiğinden, bekleme ve koordinasyon süreleri çevrim süresi üzerinde belirleyici olmaktadır (Stevenson, 2020). Hücresel veya akış tipi üretim sistemlerinde ise taşıma süresi azalmış olsa da, istasyonlar arası işlem senkronizasyonu çevrim süresinin ana belirleyicisi hâline gelmektedir (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2016). Literatürde malzeme çevrim süresinin kısaltılmasının üretim esnekliği, çıktı oranı, teslim süresi, kapasite kullanımı ve toplam ekipman etkinliği (OEE) üzerinde olumlu etkiler yarattığı belirtilmektedir (Vollmann, Berry, Whybark, & Jacobs, 2005).

2.7.3. Nakit Çevrim Süresi

Nakit çevrim süresi (Cash Conversion Cycle – CCC), işletmenin nakit çıkışı ile nakit girişi arasındaki zaman farkını ölçen bir çalışma sermayesi göstergesidir. Başka bir ifadeyle, işletmenin stoklara yaptığı harcamalardan satışlardan elde ettiği nakde ulaşmasına kadar geçen toplam süreyi ifade eder (Richards & Laughlin, 1980). Nakit çevrim süresi üç temel bileşenden oluşur: stokta kalma süresi (Days Inventory Outstanding – DIO), alacakların tahsil süresi (Days Sales Outstanding – DSO) ve borçların ödeme süresi (Days Payable Outstanding – DPO). Bu bileşenler arasındaki ilişki aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$CCC = DIO + DSO - DPO$$

Burada:

- DIO (Stokta Kalma Süresi): İşletmenin stoklarını ortalama kaç gün elinde tuttuğunu gösterir.

$$DIO = \frac{\text{Ortalama Stok}}{\text{Satılan Malın Maliyeti}} \times 365$$

- DSO (Tahsil Süresi): Müşteri alacaklarının ortalama kaç gün içinde tahsil edildiğini gösterir.

$$DSO = \frac{\text{Ticari Alacaklar}}{\text{Net Satışlar}} \times 365$$

- DPO (Ödeme Süresi): Tedarikçilere yapılan ödemelerin ortalama kaç gün içinde gerçekleştirildiğini ifade eder.

$$DPO = \frac{\text{Ticari Borçlar}}{\text{Satılan Malın Maliyeti}} \times 365$$

Bu formülasyona göre, CCC değeri işletmenin operasyonel döngüsü boyunca nakdin sistem içinde ne kadar süreyle bağlı kaldığını gösterir. CCC'nin yüksek olması, nakit dönüşüm sürecinin uzadığı; düşük veya negatif olması ise işletmenin nakit akışını daha verimli yönettiği anlamına gelmektedir (Lamberson, 1995). Nakit çevrim süresi, işletmenin operasyonel etkinliği ile finansal likiditesi arasındaki dengeyi yansıtan bir göstergedir. Richards ve Laughlin (1980) tarafından geliştirilen bu kavram, işletme sermayesi yönetiminin performansını değerlendirmede temel bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Literatürde yapılan araştırmalar, nakit çevrim süresinin kısalmasının işletmelerin kârlılığı, likiditesi ve risk yönetimi üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir (Shin & Soenen, 1998; Deloof, 2003). Bununla birlikte, nakit çevrim süresinin aşırı kısaltılması durumunda tedarikçi ilişkilerinin zayıflayabileceği ve finansal esnekliğin azalabileceği de belirtilmektedir (Christopher, 2016; Vollmann, Berry, Whybark, & Jacobs, 2005).

3. VAKA ÇALIŞMASI: AFARA TARIM ROBOTU

Bu bölümde, çalışmanın uygulama alanını oluşturan tarımsal robotik sistemin üretim süreci incelenmiştir. Afara Tarım Teknolojileri A.Ş. tarafından geliştirilen tarım robotu prototipine ait veriler kullanılarak üretim sistemi analiz edilmiştir. Bölüm kapsamında, işletmenin yapısı, robotun teknik özellikleri, veri toplama süreci ve analiz kapsamı detaylandırılmış; araştırmanın uygulamalı kısmına temel oluşturan üretim ortamı açıklanmıştır.

3.1. Afara Tarım Robotunun Genel Özellikleri

Afara Tarım Robotu; pamuk hasadı sonrası yere dökülen pamukların görüntü işleme yöntemi ile tespiti için geliştirilmiştir. Afara Tarım Robotu, sonrasında vakumlu baca sistemleri ile yerden toplayan tarım robotudur. Afara tarım robotunun çalışma prensipleri olarak robotun önde ve arkasında birer kamera, önde ise bir adet lidar bulunmaktadır. Bu kamera ve lidar robotun yön belirlenmesi, hizalama sürüş için kullanılmaktadır. İki sıra halinde her sırada 7 toplama bacası olmak üzere 14 adet toplama baca sistemi bulunmaktadır. Her iki sıra toplama sistemi için önünde birer kamera (toplamda 2 adet kamera) konumlanmıştır. Bu kameralar tarladan gerçek zamanlı görüntüler elde ederek yerde kalan pamukların tespit edilmesi için görüntü işleme ve ilgili toplama bacaların yerde kalan pamukları vakumlayarak toplanması için kullanılmaktadır.

Robotun tarla ortamında sıra hizalama, rotalama ve yarı otonom kabiliyetinin sağlanması için lidar, sistemin elektrik ihtiyacının karşılanması için BMS, enerji verimliliği için vakum mekanizmasında Bernoulli akış prensibi kullanılarak en ideal hava basıncıyla pamuğun toplanmasının sağlanması, engebeli tarla ortamında toplama bacaların yere çarpma ve kırılmaların önlenmesi için sensör entegrasyonu ve güçlendirilmiş şase tasarımı, depolanan pamukların boşaltılması için otomasyon boşaltma sistemi, gerçek zamanlı görüntü işleme pamuk tespitinde gece görüşün sağlanması, montaj/üretim kolaylığı açısından alt bileşenlerin endüstriyel ve mekanik tasarımı, robotun estetik görünümü için dış kabuk tasarımı, uzaktan kontrol ve haberleşmenin sağlanması için elektronik kontrol kart ve yazılım algoritma teknolojilerini içermektedir.

Tablo 1 Afara Tarım Robotunun Teknik Özellikleri

Robotun Teknik Özellikleri

Uzunluk	2,5 metre
Genişlik	1,4 metre
Yükseklik	1,7 metre
Pamuk Tespit Oranı	%99
Hız	4 km/saat
Pil	6 saat
Toplama Verimliliği	%90
Sürüş	Yarı otonom/Uzaktan kontrol

3.1.1. Kurumun Tanımı

Afara Tarım Teknolojileri Anonim şirketi, Yıldız Teknik Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesinde tarım sektörüne yönelik tarım robotları geliştiren teknoloji bir şirkettir. şirketin tarım robotlarından bir tanesi pamuk hasadı sonrası yere dökülen pamukları vakumlu bacalarıyla vakumlayarak toplayan Afara tarım robotudur.

Afara tarım robotunun geliştirme çalışmalarına 2020 yılında başlamıştır. KOSGEB Ar-Ge, Ür-Ge ve İnovasyon Destek Programı, Ar-Ge ve İnovasyon Destek Programı kapsamında robotun MVP seviyesinde prototipini ortaya çıkarmıştır. Ardından robotun ürün geliştirme çalışmaları için yine KOSGEB'in Ar-Ge, Ür-Ge ve İnovasyon Destek Programı, Ür-Ge Destek programı kapsamında ürün geliştirme çalışmalarını başarıyla tamamlamıştır.

3.2. Vaka Çalışmasının Kapsamı

Bu tez çalışmasında, Afara Tarım Teknolojileri A.ř. tarafından geliştirilen Afara Tarım Robotunun üretim sürecine ait veriler esas alınmıştır. Çalışmanın amacı, farklı üretim sistemleri altında uygulanan stok politikalarının ve tedarik stratejilerinin, üretim süreleri, maliyetler ve finansal çevrim göstergeleri üzerindeki etkilerini analiz etmektir. Araştırma kapsamında, iki farklı üretim sistemi — Yatai Seru Üretim Sistemi ve Sabit Konumlu Hat Dengeleme Sistemi — karşılaştırılmal olarak değerlendirilmiştir. Her iki sistem için, üretim planlama ve malzeme tedarik stratejilerini temsil eden dört senaryo geliştirilmiştir:

1. Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoksuz
2. İthal – Stoksuz
3. Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoklu
4. İthal – Stoklu

Bu senaryolar, Afara Tarım Robotunun üretim sürecinde kullanılacak veriler esas alınarak oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, MRP (Malzeme İhtiyaç Planlaması) çıktıları

üzerinden üretim süresi, birim maliyet, tedarik süresi ve stok çevrimleri analiz edilmiştir. Her senaryo için stok çevrim süresi (DIO), malzeme çevrim süresi (MCT) ve nakit çevrim süresi (CCC) hesaplanarak, üretim sistemlerinin zaman, maliyet ve nakit akışı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Bu analiz, üretim sisteminin hem operasyonel verimliliğini hem de finansal sürdürülebilirliğini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

Çalışmanın kapsamı, Afara Tarım Robotunun prototip üretim süreci ve buna bağlı üretim verileriyle sınırlıdır. Seri üretim ölçeği, dış tedarik zinciri optimizasyonu ve uzun dönemli stok planlamaları bu araştırma kapsamı dışında tutulmuştur. Analizler, sistemin mühendislik verileri, maliyet raporları ve planlama çizelgeleri üzerinden yürütülmüştür.

3.2.1. Veri Toplama ve Analiz Süreci

Bu tezde kullanılan veriler, Afara Tarım Teknolojileri A.Ş. tarafından yürütülen Ar-Ge süreci kapsamında geliştirilen Afara Tarım Robotunun prototip üretim çalışmalarından elde edilmiştir. Veriler doğrudan üretim planlama sürecine ilişkin olarak derlenmiş; mekanik ve elektronik montaj süreçlerine ait zaman, maliyet ve stok bilgilerini içermektedir. Veri toplama ve analiz süreci üç aşamada yürütülmüştür:

1. Veri Derleme ve Sınıflandırma:

Üretim süreçlerine ilişkin veriler; malzeme listeleri (BOM), tedarikçi türleri (yerli/ithal), stok politikaları (stoklu/stoksuz) ve iş gücü dağılımları temel alınarak sınıflandırılmıştır.

2. Modelleme ve Hesaplama:

Her senaryo için MRP çıktıları oluşturulmuş; üretim süresi, maliyet bileşenleri ve çevrim süreleri (DIO, MCT, CCC) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, robotun üretim planlamasında kullanılacak veriler ve mühendislik tahminleri esas alınmıştır.

3. Karşılaştırmalı Analiz:

Yatai Seru ve Sabit Konumlu Hat Dengeleme üretim sistemleri, dört senaryo kapsamında karşılaştırılmıştır. Bu analiz, sistemlerin üretim esnekliği, stok yönetim etkinliği ve finansal çevrim performansı açısından farklarını ortaya koymuştur.

Bu yaklaşımla çalışma, yalnızca teorik bir modelleme değil; aynı zamanda gerçek üretim planlamasında kullanılabilecek verilere dayalı analitik bir değerlendirme niteliği taşımaktadır. Böylece Afara Tarım Robotunun üretim süreci, yalın üretim ve stok yönetimi literatürü ile bütünleşik biçimde incelenmiştir.

4. YÖNTEM

Bu bölümde araştırmanın yöntemsel çerçevesi ve uygulama adımları açıklanmıştır. Çalışmada, üretim sisteminin süreç odaklı olarak modellenmesi, analiz edilmesi ve karşılaştırılması amacıyla Kritik Yol Yöntemi (CPM), hat dengeleme, Yatai Seru yaklaşımı ve Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) teknikleri kullanılmıştır. Bölüm hem operasyonel (süre, iş gücü, kapasite) hem de finansal (maliyet, stok, nakit çevrimi) boyutları kapsayacak biçimde yapılandırılmıştır.

4.1. Araştırma Modeli ve Yöntemsel Yaklaşım

Bu tez çalışmasında benimsenen yöntemsel yaklaşım, üretim sistemlerinin operasyonel ve finansal performansını birlikte değerlendirmeye olanak tanıyan bütünsel bir model geliştirmeye yöneliktir. Çalışmanın merkezinde, Yatai Seru üretim sisteminde stok politikalarının büyüme hızı üzerindeki etkilerini incelemek amacı bulunmaktadır. Bu kapsamda, sistematik olarak yapılandırılan analiz süreci; üretim süresinin modellenmesi, hat dengeleme uygulamaları, malzeme ihtiyaç planlaması ve finansal çevrim sürelerinin hesaplanması aşamalarını kapsamaktadır. Bu yöntemsel modelin uygulanmasında tezde kullanılan veri seti, Afara Tarım Teknolojileri A.Ş. tarafından geliştirilen Afara Tarım Robotunun prototip üretim sürecine ilişkin planlama kayıtları, mühendislik dokümantasyonu ve ölçüm çıktılarından oluşmaktadır. Analizler, bu prototip üretim verileri ile ilerleyen üretim planlamasında kullanılacak parametreler esas alınarak yürütülmüştür. Çalışmada yer alan verilerin paylaşımı ve akademik amaçla kullanımı için Afara Tarım Teknolojileri A.Ş.'den yazılı izin alınmıştır.

İlk aşamada, incelenen üretim sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler ayrıntılı biçimde tanımlanmış, bu faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri belirlenmiştir. Süreç, proje yönetimi literatüründe yaygın olarak kullanılan Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method – CPM) aracılığıyla modellenmiş ve üretim süresine ilişkin kritik faaliyetler belirlenmiştir. Bu analiz, üretim sürecinin mevcut durumda gerektirdiği toplam zamanı ve darboğaz noktalarını ortaya koymuştur.

İkinci aşamada, sabit konumlu montaj yaklaşımı esas alınarak faaliyetler mekanik ve elektrik teknisyenleri arasında dağıtılmış; iş yüklerinin dengelenmesi ve çevrim

süresinin optimize edilmesi hedeflenmiştir. Böylece CPM sonuçlarıyla ilişkilendirilerek iş gücü planlamasının toplam süre üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Üçüncü aşamada, tezin temel araştırma alanını oluşturan Yatai Seru üretim modeli uygulanmış ve sistem yeniden yapılandırılmıştır. Bu modelde, çok becerili tek bir teknisyenin birim bazlı üretim gerçekleştirmesi esas alınmış; iş gücü esnekliği, üretim süresi ve verimlilik değişkenleri bakımından sabit konumlu montaj modeliyle karşılaştırma yapılmıştır. Böylece çalışmanın ana problemi olan üretim sisteminin esneklik–verimlilik dengesine ilişkin analiz tamamlanmıştır.

Dördüncü aşamada, üretim sisteminin Ürün Ağacı (Bill of Materials – BOM) çıkarılmış ve bu yapıya göre Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) yürütülmüştür. Bu analiz kapsamında dört farklı tedarik ve stok stratejisi senaryolaştırılmıştır:

1. Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoksuz
2. İthal – Stoksuz
3. Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoklu
4. İthal – Stoklu

Bu senaryolar, maliyet bileşenleri, tedarik süreleri, elde tutma ve sipariş maliyetleri açısından karşılaştırılmış; üretim ve stok politikalarının işletme büyüme hızına etkileri incelenmiştir.

Beşinci aşamada, sistemin finansal boyutu çevrim süreleri ve döngü metrikleri temelinde analiz edilmiştir. Bu kapsamda stok çevrim süresi (DIO), malzeme çevrim süresi (MCT) ve nakit çevrim süresi (CCC) değerleri hesaplanmış; farklı tedarik senaryolarının bu metrikler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu yöntemsel çerçeve, üretim sürecinin operasyonel (süre, iş gücü, kapasite) ve finansal (stok politikaları, çevrim süreleri) yönlerini birlikte ele alarak, Yatai Seru üretim sisteminde stok politikalarının büyüme hızı odağında bütüncül bir değerlendirme sunmaktadır.

4.1.1. Malzeme Listesi ve Ürün Ağacı

Ürün ağacı (Bill of Materials – BOM), herhangi bir üretim sisteminde nihai ürünün ortaya çıkması için gerekli tüm alt bileşenleri, parçaları ve malzemeleri hiyerarşik bir yapı içinde gösteren temel bir araçtır. Bu yapı sayesinde ürünün hangi alt montajlardan ve parçalarından oluştuğu sistematik biçimde izlenebilmekte, üretim sürecinde hangi

malzemenin hangi aşamada kullanılacağı açıkça ortaya konulmaktadır. Ürün ağacı aynı zamanda malzeme ihtiyaç planlaması (MRP), kapasite planlama ve maliyet analizleri için de doğrudan veri sağlamaktadır.

Bu tez kapsamında incelenen üretim sistemi tasarımında ilk adım, robotun tüm bileşenlerinin ayrıntılı biçimde ortaya konulmasıdır. Bu kapsamda gövde, şasi ve tahrik sistemi gibi temel yapısal unsurların yanı sıra elektrik ve elektronik bileşenler, sensör donanımları ve yazılım entegrasyonu için gerekli alt parçalar ürün ağacında tanımlanmıştır. Böylelikle yalnızca mekanik bileşenler değil, aynı zamanda kontrol ünitesi, kablolama elemanları, batarya sistemi, motorlar, vakumlu toplama bacaları ve görüntü işleme donanımları da bu yapının bir parçası olarak ele alınmıştır. Oluşturulan ürün ağacı, bileşenler arasındaki ilişkileri ve montaj sırasını göstermesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu sayede hangi parçaların öncelikli olarak tedarik edilmesi gerektiği, hangi alt bileşenlerin montaj için ön koşul olduğu ve hangi bileşenlerin nihai ürünün ortaya çıkmasında doğrudan rol oynadığı sistematik bir şekilde tanımlanmıştır.

Bu tez kapsamında kullanılan ürün ağacı, aynı zamanda malzeme listesi ile desteklenmiştir. Malzeme listesi, ürün ağacında yer alan her bir bileşenin detaylı teknik özelliklerini, miktarlarını ve tedarik biçimlerini içermektedir. Böylece yalnızca yapısal hiyerarşi değil, aynı zamanda üretim sürecinde karşılaşılabilecek maliyet farklılıkları ve tedarik süresi değişkenlikleri de dikkate alınabilmektedir. Özellikle ithal ve yerli tedarik senaryolarının karşılaştırılması açısından bu liste kritik bir rol üstlenmektedir. Sonraki aşamalarda yapılacak analizlerde (CPM, sabit konumlu montaj hat dengeleme, Yatai Seru uygulaması ve MRP senaryoları) doğrudan bu ürün ağacı ve malzeme listesinde tanımlanan veriler kullanılacaktır. Bu nedenle, ürün ağacının doğru ve eksiksiz şekilde çıkarılması, tüm yöntemsel analizlerin sağlıklı biçimde yürütülmesinin ön koşulu olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2 Malzeme Listesi, Tedarik Süreleri ve Fiyat Bilgileri

No:	Malzeme Listesi	Ölçü Birimi	Miktar	Menşei Ülke (Yerli / Yerli Tedarikçi / İthal)	Tedarik Süresi (Gün) (Yerli / Yerli Tedarikçi)	Tedarik Süresi (Gün) (İthal)	Toplam Fiyat (Yerli / Yerli Tedarikçi) (USD)	Toplam Fiyat (İthal) (USD)
1	Şasi	Adet	1	Yerli / Türkiye	4	-	2.084	-
2	Dingil	Adet	1	Yerli / Türkiye	3	-	294	-
3	Mil Yatağı	Adet	2	Yerli / Türkiye	3	-	164	-

4	Kablolar	Metre	120	Yerli / Türkiye	3	-	613	-
5	Depo	Adet	1	Yerli / Türkiye	4	-	325	-
6	Depo Motoru	Adet	1	Yerli / Türkiye	5	-	201	-
7	Depo Motor sürücüsü	Adet	1	Yerli / Türkiye	5	-	167	-
8	Depo Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	5	-	317	-
9	Manevra motoru	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	5	15	2.341	1.300
10	Manevra tahrik sistemi mil	Adet	4	Yerli / Türkiye	5	-	149	-
11	Redüktör	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	5	15	2.235	1.241
12	Manevra motoru sürücüsü	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	5	15	724	402
13	Tekerlek kulesi	Adet	4	Yerli / Türkiye	5	-	867	-
14	Tahrik motoru	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	5	15	6.538	3.632
15	Tahrik motoru sürücüsü	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	5	15	2.525	1.403
16	Tahrik Sistem Bileşenleri	Paket	4	Yerli / Türkiye	4	-	1.160	-
17	Emiş sistemi	Paket	1	Yerli / Türkiye	4	-	80	-
18	Sensörler	Adet	22	Yerli / Türkiye	4	-	620	-
19	Toplama bacası Motoru	Adet	14	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	5	15	2.556	1.420
20	Toplama bacası Motor sürücüsü	Adet	14	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	5	15	1.248	693
21	Toplama bacası STM	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	5	15	446	248
22	Toplama bacası Röle	Adet	32	Yerli / Türkiye	4	-	240	-

23	Toplama Bacası Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	4	-	1.618	-
24	Metal pnömatik	Metre	6	Yerli / Türkiye	4	-	98	-
25	Batarya	Paket	1	Yerli / Türkiye	7	-	17.500	-
26	Kompresör	Adet	2	Yerli / Türkiye	5	-	557	-
27	Pnömatik sistem	Paket	1	Yerli / Türkiye	4	-	62	-
28	Pano	Adet	1	Yerli / Türkiye	5	-	68	-
29	Pano Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	4	-	1.005	-
30	Anakart	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	5	15	1.257	698
31	Sigorta	Set	1	Yerli / Türkiye	4	-	198	-
32	Jetson Orin	Adet	1	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	5	15	779	433
33	Mini PC	Adet	1	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	5	15	223	124
34	İnvertör	Adet	1	Yerli / Türkiye	4	-	263	-
35	Aktüatör	Adet	2	Yerli / Türkiye	4	-	310	-
36	Toplama ünitesi aydınlatma	Set	1	Yerli / Türkiye	4	-	80	-
37	Toplama baca kameraları	Adet	2	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	5	15	1.234	686
38	Tekerlek	Adet	4	Yerli / Türkiye	4	-	211	-
39	Lidar	Adet	2	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	5	15	3.086	1.714
40	Robot Yön Kameraları	Adet	2	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	5	15	1.234	686
41	Diğer Bileşenler	Paket	2	Yerli / Türkiye	5	-	84	
42	Kabuk	Set	1	Yerli / Türkiye	6	-	5.015	

Tablo 3 Afara Tarım Robotunun Ürün Ağacı

Seviye Numaraları					Parça Adı	Ölçü Birimi	Miktar
0					Afara Tarım Robotu	Adet	1
	1				Şasi	Adet	1
		2			Ön beşik dingili	Set	1
			3		Dingil	Adet	1
			3		Mil Yatağı	Adet	2
		2			Kablo kanalları	Set	1
			3		Kablolar	Metre	120
	1				Depo	Adet	1
		2			Depo dişli zincirleri	Set	1
			3		Depo Motoru	Adet	1
			3		Depo Motor sürücüsü	Adet	1
			3		Depo Bileşenleri	Paket	1
	1				Manevra tahrik sistemi	Set	1
		2			Manevra motoru	Adet	4
		2			Manevra tahrik sistemi mil	Adet	4
		2			Redüktör	Adet	4
		2			Manevra motoru sürücüsü	Adet	4
	1				Tekerlek kuleleri	Set	1
		2			Tekerlek kulesi	Adet	4
	1				Tahrik sistemi	Set	1
		2			Tahrik motoru	Adet	4
		2			Tahrik motoru sürücüsü	Adet	4
		2			Tahrik Sistem Bileşenleri	Paket	4
	1				Emiş sistemi	Paket	1
	1				Sensörler	Adet	22
	1				Toplama bacası kutusu	Set	1
		2			Toplama bacası Motoru	Adet	14
		2			Toplama bacası Motor sürücüsü	Adet	14
		2			Toplama bacası STM	Adet	4
		2			Toplama bacası Röle	Adet	32
		2			Toplama Bacası Bileşenleri	Paket	1
		2			Baca yatakları	Set	1
			3		Metal pnömatik	Metre	6
		2			Batarya	Paket	1
		2			Kompresör ve Pnömatik sistemler	Set	1
			3		Kompresör	Adet	2
			3		Pnömatik sistem	Paket	1
		2			Pano	Set	1
			3		Pano	Adet	1
			3		Pano Bileşenleri	Paket	1
			3		Anakart	Adet	4
			3		Sigorta	Set	1
			3		Jetson Orin	Adet	1

			3		Mini PC	Adet	1
			3		İnvertör	Adet	1
			3		Depo lineer aktüatör	Set	1
				4	Aktüatör	Adet	2
			3		Toplama ünitesi aydınlatma	Set	1
			3		Toplama baca kameraları	Adet	2
			3		Hareket sistemi	Set	1
				4	Tekerlek	Adet	4
	2				Aydınlatma ve İkaz Bileşenleri	Set	1
			3		Lidar	Adet	2
			3		Robot Yön Kameraları	Adet	2
			3		Diğer Bileşenler	Paket	2
	1				Kabuk	Set	1

4.1.2. Faaliyetler ve Öncelik İlişkileri

Robotun prototip geliştirme aşamasına uygun olarak seçilmiş olup, tüm faaliyetler tek bir montaj alanında gerçekleştirilmekte; farklı uzmanlık alanlarına sahip teknisyenler (mekanik ve elektrik) belirli faaliyetleri üstlenmektedir. Üretim sürecinin sistematik tanımlanabilmesi için faaliyet listesi temel alınmıştır. Bu faaliyetler, robotun alt bileşenlerine göre iki ana grupta sınıflandırılmıştır:

1. Mekanik Montaj Faaliyetleri:
2. Elektrik ve Elektronik Montaj Faaliyetleri:

Her bir faaliyet belirli bir öncül–ardıl ilişkisine sahiptir. Örneğin, elektrik sistemlerinin montajı şasi montajı tamamlanmadan gerçekleştirilemez; sensör entegrasyonu ise hem şasi hem de elektrik altyapısı kurulmadan yapılamaz. Bu nedenle üretim sürecinde faaliyetler arasında bağımlılık ilişkilerinin açık şekilde tanımlanması kritik öneme sahiptir. Bu tanımlama sonucunda, Afara Tarım Robotu üretim süreci aşağıdaki bileşenlerden oluşan bir faaliyet ağı olarak modellenmiştir:

- Başlangıç faaliyetleri: Şasi ve gövde hazırlıkları,
- Ara faaliyetler: Tahrik, mekanik montajları ve elektrik–elektronik kurulumlar,
- Bitiş faaliyetleri: Sensör entegrasyonu, yazılım yükleme, fonksiyonel testler.

Tablo 4 Üretim Süreci Faaliyetleri ve Öncelik İlişkileri

Aktivite	Açıklama	Öncül	Süre (saat)
A	Robot şasinin hücre üretim alanına taşınması ve sabitlenmesi	-	1
B	Ön beşik dingilinin montajı	A	1
C	Kablo kanallarının döşenmesi	B	4
D	Ana kablajın dizilmesi	C	8

E	Deponun montaj edilmesi	D	2
F	Depo dişli zincirlerinin entegre edilmesi	E	2
G	Manevra tahrik sisteminin montajı	F	4
H	Tekerlek kulelerinin montaj edilmesi	G	4
I	Tahrik sisteminin tekerlek kulesine montajı	H	4
J	Emiş sistemi borularının kesilmesi, takılması ve sabitlenmesi	I	3
K	Kızılötesi sensörlerin takılması	J	3
L	Toplama ünitesinin hazırlanması	K	15
M	Toplama baca yataklarının takılması	L	3
N	Bataryaların dizilmesi ve braketlerin sabitlenmesi	M	6
O	Kompresör ve pnömatik sistemlerin döşenmesi	N	1
P	Pano malzemelerinin panoya yerleştirilmesi ve dizilmesi	N	10
R	Pano ve aktarım güç sistemlerinin montajı	N	3
S	Depo lineer aktüatörün takılması	R	3
T	Toplama ünitesinin aydınlatma malzemesinin montajı	S	3
U	Baca kameralarının montajı	T	3
V	İç lastiğin şişirilerek jant ve dış lastiğe montajlanması	-	1
Y	İkaz lambası, acil stop butonu, lidar ve kameraların montajı	U	3
Z	Toplama ünitesinin montajı	Y	3
AA	Kabuğun montajı	Z	7
BB	Tüm kablaj bağlantılarının tamamlanması	AA	5
CC	Tekerleklerin montajı	BB	1
DD	Yazılım birim testlerinin yapılması	CC	2
EE	Mekanik ve elektronik birim testlerinin yapılması	DD	2
FF	Atölye test ortamında robot son testlerinin yapılması	EE	2
GG	Kalite kontrollerinin yapılması	FF	2
HH	Robot teslim edilmek üzere paketleme ve sevkiyat	GG	2

Bu bölümde yapılan üretim süreci tanımlaması, çalışmanın ilerleyen kısımlarında uygulanacak olan Kritik Yol Yöntemi (CPM), sabit konumlu montajda hat dengeleme ve Yatai Seru yaklaşımı için temel veri setini oluşturacaktır. Böylelikle hem faaliyet sürelerinin hesaplanması hem de farklı üretim sistemlerinin performans karşılaştırmaları sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilecektir.

4.2. CPM Analizi

Karmaşık üretim süreçlerinin zaman boyutunda analiz edilmesi ve kritik faaliyetlerin belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemlerden biri de Kritik Yol Yöntemi

(Critical Path Method – CPM)’dir. CPM, her bir faaliyetin süresini ve öncelik ilişkilerini dikkate alarak, toplam sürecin ne kadar zamanda tamamlanabileceğini hesaplamakta; aynı zamanda kritik faaliyetleri ve bu faaliyetler üzerindeki esneklik payını (slack) ortaya koymaktadır. Kritik faaliyetlerin gecikmesi, toplam proje süresini doğrudan etkilemekte, diğer faaliyetlerdeki gecikmeler ise yalnızca sahip oldukları slack süreleri oranında tolere edilebilmektedir.

Robotun üretim sürecinde gerçekleştirilecek faaliyetler, ürün ağacına bağlı olarak çıkarılmış ve her birine süre değerleri atanmıştır. Daha sonra bu faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri tanımlanmış ve QM for Windows yazılımı kullanılarak CPM ağı oluşturulmuştur. Analiz sonucunda her faaliyet için erken başlama (ES), erken bitiş (EF), geç başlama (LS), geç bitiş (LF) ve slack değerleri hesaplanmıştır. Oluşturulan faaliyet ağı, üretim sürecinin başlangıcından sonuna kadar ardışık bağımlılıkların yoğun olduğu bir yapıya işaret etmektedir. Özellikle mekanik montaj faaliyetleri ile başlayan süreç, elektrik ve elektronik montaj adımlarıyla devam etmekte, ardından fonksiyonel testler ve kalite kontrolleri ile tamamlanmaktadır. CPM analizi, bu faaliyet zincirinin bütününde hangi adımların kritik yol üzerinde bulunduğunu ve toplam sürenin hangi faaliyetler tarafından belirlendiğini açıkça ortaya koymuştur.

4.2.1. Kritik Yol ve Toplam Süre

CPM analizi sonucunda robotun üretim sürecinin toplam süresi 101 saat olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5 Robotun Üretim Sürecinin Hesaplanması İçin CPM Uygulanması

Aktivite	Öncül	Süre (saat)	Erken Başlama	Erken Bitiş	Geç Başlama	Geç Bitiş	Boşluk	Kritik Yol
A	-	1	0	1	0	1	0	Kritik
B	A	1	1	2	1	2	0	Kritik
C	B	4	2	6	2	6	0	Kritik
D	C	8	6	14	6	14	0	Kritik
E	D	2	14	16	14	16	0	Kritik
F	E	2	16	18	16	18	0	Kritik
G	F	4	18	22	18	22	0	Kritik
H	G	4	22	26	22	26	0	Kritik
I	H	4	26	30	26	30	0	Kritik
J	I	3	30	33	30	33	0	Kritik
K	J	3	33	36	33	36	0	Kritik
L	K	15	36	51	36	51	0	Kritik
M	L	3	51	54	51	54	0	Kritik
N	M	6	54	60	54	60	0	Kritik

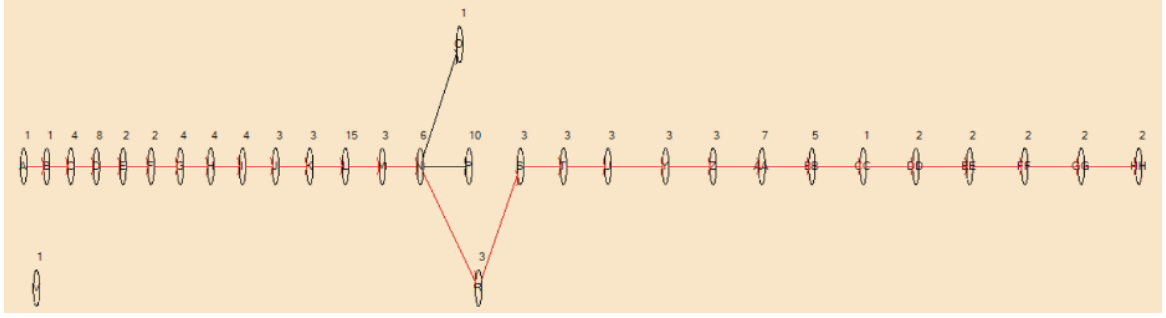
O	N	1	60	61	100	101	40	
P	N	10	60	70	91	101	31	
R	N	3	60	63	60	63	0	Kritik
S	R	3	63	66	63	66	0	Kritik
T	S	3	66	69	66	69	0	Kritik
U	T	3	69	72	69	72	0	Kritik
V	-	1	0	1	100	101	100	
Y	U	3	72	75	72	75	0	Kritik
Z	Y	3	75	78	75	78	0	Kritik
AA	Z	7	78	85	78	85	0	Kritik
BB	AA	5	85	90	85	90	0	Kritik
CC	BB	1	90	91	90	91	0	Kritik
DD	CC	2	91	93	91	93	0	Kritik
EE	DD	2	93	95	93	95	0	Kritik
FF	EE	2	95	97	95	97	0	Kritik
GG	FF	2	97	99	97	99	0	Kritik
HH	GG	2	99	101	99	101	0	Kritik

Bu süre, faaliyetlerin ardışık bağımlılıkları ve süreleri dikkate alınarak oluşturulan faaliyet ağından elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda slack değeri sıfır olan faaliyetler kritik yol üzerinde yer almakta, bu faaliyetlerde meydana gelebilecek herhangi bir gecikme toplam üretim süresini doğrudan uzatmaktadır.

Şekil 1 Robotun Üretim Süresinin Hesaplanması İçin CPM Uygulanması Ve QM For Windows'da Çözümü

Activity	Activity time	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack
Project	101					
A	1	0	1	0	1	0
B	1	1	2	1	2	0
C	4	2	6	2	6	0
D	8	6	14	6	14	0
E	2	14	16	14	16	0
F	2	16	18	16	18	0
G	4	18	22	18	22	0
H	4	22	26	22	26	0
I	4	26	30	26	30	0
J	3	30	33	30	33	0
K	3	33	36	33	36	0
L	15	36	51	36	51	0
M	3	51	54	51	54	0
N	6	54	60	54	60	0
O	1	60	61	100	101	40
P	10	60	70	91	101	31
R	3	60	63	60	63	0
S	3	63	66	63	66	0
T	3	66	69	66	69	0
U	3	69	72	69	72	0
V	1	0	1	100	101	100
Y	3	72	75	72	75	0
Z	3	75	78	75	78	0
AA	7	78	85	78	85	0
BB	5	85	90	85	90	0
CC	1	90	91	90	91	0
DD	2	91	93	91	93	0
EE	2	93	95	93	95	0
FF	2	95	97	95	97	0
GG	2	97	99	97	99	0
HH	2	99	101	99	101	0

Şekil 2 Robotun Üretim Süresinin Hesaplanması İçin CPM Uygulanması, QM For Windows'da Çözümü Ve Kritik Yol



Analiz bulgularına göre kritik yol şu faaliyetlerden oluşmaktadır:

A – B – C – D – E – F – G – H – I – J – K – L – M – N – R – S – T – U – Y – Z – AA – BB – CC – DD – EE – FF – GG – HH

Bu zincir, robotun üretim sürecinde hem mekanik hem de elektrik-elektronik montaj faaliyetlerini kapsamaktadır. Kritik yolun bu kadar uzun olması, sürecin büyük bölümünün zaman açısından esnekliğe sahip olmadığını göstermektedir. Sadece birkaç faaliyet (örneğin pano montajına ilişkin bazı adımlar) kritik yol dışında kalmakta ve belirli ölçüde slack süresine sahip bulunmaktadır.

Sonuç olarak, robotun üretim sistemi tasarımında kritik yolun bu denli uzun ve kesintisiz olması, üretim sürecinde iş gücü planlamasının ve faaliyet koordinasyonunun büyük önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Kritik faaliyetlerin takvime uygun ilerlemesi, toplam sürenin kontrol altında tutulabilmesi için en önemli gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

4.3. Sabit Konumlu Hat Dengeleme

Robotun ana gövdesi belirli bir üretim alanında sabitlenmekte ve tüm montaj faaliyetleri bu sabit konum üzerinde gerçekleştirilmektedir. Robotun boyutu, ağırlığı ve modüler yapısı nedeniyle üretim hattı boyunca taşınması yerine parçaların iş istasyonuna getirilmesi daha uygun görülmektedir. Bu nedenle üretim sisteminin tasarımında hat dengeleme analizi, sabit konumlu montaj mantığına göre yapılmaktadır.

Sabit konumlu montajda hat dengeleme, iş gücünün faaliyetler arasında dengeli bir şekilde dağıtılmasını hedeflemektedir. Bu çalışmada montaj faaliyetleri iki farklı teknisyen grubuna atanmıştır: mekanik faaliyetleri yürütecek mekanik teknisyen ve elektrik-elektronik faaliyetleri yürütecek elektrik teknisyeni. Faaliyetlerin atanması sırasında her

teknisyenin iş yükünün dengeli olmasına, faaliyet sürelerinin toplam üretim süresini minimize edecek biçimde paylaştırılmasına dikkat edilmiştir. Bu bağlamda sabit konumlu hat dengeleme için iki ayrı senaryo ele alınmıştır. Birinci senaryoda, bir mekanik ve bir elektrik teknisyeni birlikte tek bir birim üretimini gerçekleştirmektedir. İkinci senaryoda ise aynı ekip, üretim sürecinde ortaya çıkan bekleme sürelerinin üretime yönlendirilmesiyle eşzamanlı iki birim montajını yürütmektedir. Böylece sabit konumlu hat dengeleme yaklaşımı hem tek birim üretimi hem de eşzamanlı çoklu üretim koşullarında incelenmiştir.

4.3.1. Mekanik ve Elektrik Teknisyenlerine İş Atamaları

Sabit konumlu montajda hat dengeleme yapılırken faaliyetlerin iki farklı uzmanlık grubuna atanması gerekmiştir. Mekanik teknisyen; şasi, tahrik sistemi, pnömomatik parçalar ve gövde montajına yönelik işlemlerden sorumlu tutulurken, elektrik teknisyeni kablolama, sensör montajı, batarya bağlantıları ve yazılım testlerinden sorumlu kılınmıştır. Böylece üretim sürecinde uzmanlık gerektiren alanlar ayrıştırılmış ve iş yükünün dengeli biçimde paylaşılması hedeflenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan iş atamaları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 6 Mekanik ve Elektrik Teknisyenlerine İş Atamaları

Aktivite	Açıklama	Süre (saat)	Atanan Teknisyen			
			Mekanik Teknisyen	İşlem Süresi (saat)	Elektrik Teknisyen	İşlem Süresi (saat)
A	Robot şasinin hücre üretim alanına taşınması ve sabitlenmesi	1	Mekanik	1	-	-
B	Ön beşik dingilinin montajı	1	Mekanik	1	-	-
C	Kablo kanallarının döşenmesi	4	-	-	Elektrik	4
D	Ana kablajın dizilmesi	8	-	-	Elektrik	8
E	Deponun montaj edilmesi	2	Mekanik	2	-	-
F	Depo dişli zincirlerinin entegre edilmesi	2	Mekanik	2	-	-
G	Manevra tahrik sisteminin montajı	4	Mekanik	4	-	-
H	Tekerlek kulelerinin montaj edilmesi	4	Mekanik	4	-	-

I	Tahrik sisteminin tekerlek kulesine montajı	4	Mekanik	4	-	-
J	Emiş sistemi borularının kesilmesi, takılması ve sabitlenmesi	3	Mekanik	3	-	-
K	Kızılötesi sensörlerin takılması	3	-	-	Elektrik	3
L	Toplama ünitesinin hazırlanması	15	Mekanik	6	Elektrik	9
M	Toplama baca yataklarının takılması	3	Mekanik	3	-	-
N	Bataryaların dizilmesi ve braketlerin sabitlenmesi	6	-	-	Elektrik	6
O	Kompresör ve pnömatik sistemlerin döşenmesi	1	-	-	Elektrik	1
P	Pano malzemelerinin panoya yerleştirilmesi ve dizilmesi	10	Mekanik	5	Elektrik	5
R	Pano ve aktarım güç sistemlerinin montajı	3	-	-	Elektrik	3
S	Depo lineer aktüatörün takılması	3	Mekanik	3	-	-
T	Toplama ünitesinin aydınlatma malzemesinin montajı	3	Mekanik	1	Elektrik	2
U	Baca kameralarının montajı	3	Mekanik	1	Elektrik	2
V	İç lastiğin şişirilerek jant ve dış lastiğe montajlanması	1	Mekanik	1	-	-
Y	İkaz lambası, acil stop butonu, lidar ve kameraların montajı	3	Mekanik	1	Elektrik	2
Z	Toplama ünitesinin montajı	3	Mekanik	3	-	-
AA	Kabuğun montajı	7	Mekanik	6	Elektrik	1
BB	Tüm kablaj bağlantılarının tamamlanması	5	-	-	Elektrik	5
CC	Tekerleklerin montajı	1	Mekanik	1	-	-
DD	Yazılım birim testlerinin yapılması	2	Mekanik	1	Elektrik	1

EE	Mekanik ve elektronik birim testlerinin yapılması	2	Mekanik	1	Elektrik	1
FF	Atölye test ortamında robot son testlerinin yapılması	2	Mekanik	1	Elektrik	1
GG	Kalite kontrollerinin yapılması	2	Mekanik	1	Elektrik	1
HH	Robot teslim edilmek üzere paketleme ve sevkiyat	2	Mekanik	1	Elektrik	1

Tablodan görüldüğü üzere, mekanik teknisyen yapısal ve hareketli parçaların montajını üstlenirken, elektrik teknisyeni enerji dağıtımı ve kontrol bileşenlerinden sorumlu tutulmuştur. Bu dağılım üzerinden yapılan hesaplamalarda iki farklı senaryo ortaya konulmuştur:

Senaryo A – Tek Robot Üretimi:

- Bu senaryoda bir mekanik ve bir elektrik teknisyeni birlikte tek bir birim üretimini gerçekleştirmiştir. Toplam üretim süresi 92 saat olarak belirlenmiş, mekanik teknisyenin aktif işlem süresi 57 saat, elektrik teknisyeninin işlem süresi ise 56 saat olmuştur. Görevlerin ardışık ilerlemesinden kaynaklı olarak mekanik teknisyende 35 saat, elektrik teknisyeninde ise 36 saat atıl süre ortaya çıkmıştır.

Senaryo B – Eşzamanlı İki Robot Üretimi:

- Aynı ekip tarafından eşzamanlı olarak iki birimin üretildiği bu senaryoda, ilk robot 112. saatte, ikinci robot ise 136. saatte tamamlanmıştır. Bu durumda çevrim süresi 24 saat olarak hesaplanmıştır. Mekanik teknisyenin toplam işlem süresi 114 saat, elektrik teknisyeninin işlem süresi ise 112 saat olmuş; atıl süreler mekanikte 22 saat, elektronikte ise 24 saate gerilemiştir.

Bu sonuçlar, sabit konumlu üretimde iş gücü dağılımının üretim süresine doğrudan etki ettiğini ve eşzamanlı üretim yaklaşımının çevrim süresini önemli ölçüde kısalttığını göstermektedir.

4.4. Yatai Seru Uygulaması

Yatai Seru modeli, üretim sistemlerinde çok-becerili tek bir personelin tüm montaj faaliyetlerini uçtan uca yürüttüğü, el değiştirmelerin ve senkronizasyon kaynaklı atıl

sürelerin en aza indirildiği bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu yöntemde mekanik ve elektrik iş gücü ayrımı ortadan kalkmakta, aynı personel tüm faaliyetleri tek başına üstlenmektedir. Literatürde Yatai Seru özellikle yüksek karışım–düşük hacimli üretimlerde, iş gücü verimliliğini artıran, kalite sahipliğini tek elde toplayan ve üretim akışındaki koordinasyon kayıplarını azaltan bir model olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada Yatai Seru’nun uygulanması, robotunun montaj sürecinde sabit konumlu iki teknisyen düzeniyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Böylece iş gücü kullanım biçimindeki değişikliğin, toplam süreye, iş gücü verimliliğine ve çıktı miktarına olan etkileri ortaya konulmuştur.

4.4.1. Nitelikli Personel ile İş Dağılımı

Sabit konumlu montaj düzeninde faaliyetler mekanik ve elektrik teknisyenleri arasında paylaştırılmış, ancak kaynak bağımlılıkları nedeniyle teknisyenler belirli oranlarda atıl kalmıştır. Tek robot üretiminde mekanik teknisyen toplam 57 saat aktif çalışmış ve 35 saat atıl kalmış; elektrik teknisyeni ise 56 saat aktif görev almış ve 36 saat atıl süreye sahip olmuştur. Bu durumda iki teknisyenin birlikte çalıştığı düzende ilk robotun tamamlanma süresi 92 saat olarak gerçekleşmiştir. Eşzamanlı iki robot üretiminde ise teknisyenlerin atıl süreleri kısmen azalmış, ancak toplam süre artmıştır. Bu senaryoda mekanik teknisyen 114 saat, elektrik teknisyeni ise 112 saat aktif çalışmıştır. Mekanik teknisyenin 22 saat, elektrik teknisyenin 24 saat atıl kaldığı bu düzende, ilk robotun üretimi 112. saatte, ikinci robotun üretimi ise 136. saatte tamamlanmıştır.

Yatai Seru üretim sisteminde ise görevler nitelikli tek personel tarafından uçtan uca yürütülmüş, tüm faaliyetler ardışık şekilde tek kişi tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu modelde bir robotun bitiş süresi 113 saate yükselmiş, ancak aynı anda iki farklı hücrede iki personelin paralel çalışması sayesinde 113 saatte iki robot üretilmiştir. Böylece çıktı hızında sabit konumlu montaj düzenine kıyasla önemli bir iyileşme sağlanmıştır.

4.5. Süre ve Verimlilik Karşılaştırması

Üç farklı üretim yaklaşımının (sabit konumlu tek robot, sabit konumlu iki robot eşzamanlı, Yatai Seru) karşılaştırmalı sonuçları aşağıda ayrıntılı biçimde sunulmaktadır.

1. İlk ürünün çıkış süresi açısından;
 - Sabit konumlu (tek robot): İlk ürün 92. saatte tamamlanmıştır.

- Sabit konumlu (iki robot eşzamanlı): Örtüşme nedeniyle ilk ürün 112. saatte çıkmıştır.
- Yatai Seru: Hücre bazında ilk ürünün çıkışı 113. saatte gerçekleşmiştir.

Bu sonuç, sabit konumlu tek robot üretiminin ilk ürün teslimatı açısından daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Ancak sistemlerin uzun dönem üretim performansı bu tabloyu değiştirmektedir.

2. Çevrim süresi açısından;

- Sabit konumlu (tek robot): Çevrim süresi = 92 saat, çünkü her ürün tek başına üretilmektedir.
- Sabit konumlu (iki robot eşzamanlı): Çevrim süresi = 24 saat, çünkü birinci robot 112. saatte, ikinci robot ise 136. saatte tamamlanmıştır.
- Yatai Seru: Hücre bazında çevrim süresi 113 saat, sistem bazında iki paralel hücre sayesinde ortalama çevrim süresi 56,5 saat olarak hesaplanmıştır.

Dolayısıyla, kısa vadede sabit konumlu tek robot düzeni hızlı bir başlangıç sağlarken, uzun vadede çevrim süreleri açısından en düşük değer eşzamanlı üretim senaryosunda, en dengeli çözüm ise Yatai Seru'da elde edilmektedir.

3. İş gücü kullanımı ve atıl süreler açısından;

- Sabit konumlu (tek robot): Mekanik teknisyen 57 saat aktif, 35 saat atıl; elektrik teknisyeni 56 saat aktif, 36 saat atıl kalmıştır. Toplam atıl iş gücü 71 saattir.
- Sabit konumlu (iki robot eşzamanlı): Mekanik teknisyen 114 saat aktif, 22 saat atıl; elektrik teknisyeni 112 saat aktif, 24 saat atıl kalmıştır. Toplam atıl süre 46 saate gerilemiştir.
- Yatai Seru: Atıl süre bulunmamaktadır. Her bir nitelikli personel tüm montaj adımlarını uçtan uca yürüttüğü için iş gücü tam kapasiteyle kullanılmaktadır.

Bu karşılaştırma, iş gücü etkinliği açısından Yatai Seru'nun belirgin bir üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır.

4. Çıktı hızı açısından;

- Sabit konumlu (tek robot): 1 robot / 92 saat $\rightarrow \approx 0,011$ robot/saat
- Sabit konumlu (iki robot eşzamanlı): 2 robot / 136 saat $\rightarrow \approx 0,015$ robot/saat
- Yatai Seru: 2 robot / 113 saat $\rightarrow \approx 0,017$ robot/saat

Sonuçlara göre en yüksek çıktı hızına Yatai Seru yaklaşımı ulaşmıştır.

Genel Değerlendirme

Sabit konumlu tek robot yaklaşımı, ilk ürün teslim süresinde avantajlıdır; ancak iş gücü verimliliği ve çıktı hızı açısından sınırlılıklar barındırmaktadır. Eşzamanlı iki robot üretimi, çevrim süresini düşürerek üretim akışında iyileşme sağlamış, fakat belirli ölçüde atıl iş gücü varlığını sürdürmüştür. Yatai Seru modeli ise ilk ürün süresinin daha uzun olmasına rağmen, iş gücü kayıplarını ortadan kaldırması, çıktı hızını artırması ve daha sürdürülebilir bir üretim oluşturması bakımından uzun vadeli üretim stratejileri için en uygun yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, Afara Tarım Robotu üretiminde Yatai Seru yaklaşımı, iki teknisyenle sabit konumlu çalışmaya göre daha uzun ilk teslim süresine sahip olmakla birlikte, iş gücü verimliliğini artıran, atıl süreleri sıfırlayan ve toplam üretim çıktısını yükselten bir alternatif üretim sistemi tasarımı olarak öne çıkmaktadır.

4.6. MRP Senaryoları

Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirements Planning – MRP), üretim sürecinin zaman, stok ve tedarik bileşenlerini senkronize etmeyi amaçlayan sistematik bir planlama yaklaşımıdır. Bu tezde MRP yöntemi hem Yatai Seru hem de Sabit Konumlu Hat Dengeleme üretim modelleri altında uygulanmış; tedarik stratejilerinin ve stok politikalarının üretim süresi, maliyet ve çevrim performansları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan senaryolar, literatürde yaygın kabul gören stok yönetimi ve tedarik stratejileri çerçevesinde kurgulanmış olup, üretim sürecinde kullanılacak veriler robotun ürün ağacı ve malzeme listesi esas alınarak modellenmiştir. Senaryoların oluşturulmasında, üretim sisteminin mevcut teknik kapasitesi, tedarik süresi, yerli ve ithal bileşen oranı ile stok yönetimi tercihleri dikkate alınmıştır. Analizde dört farklı senaryo temel alınmıştır:

- Senaryo 1 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz: Bileşenler yerli tedarikçilerden sağlanmakta, stok tutulmamaktadır.
- Senaryo 2 – İthal, Stoksuz: Bileşenler ithal tedarikçilerden sağlanmakta, stok tutulmamaktadır.
- Senaryo 3 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu: Bileşenler yerli tedarikçilerden sağlanmakta, kritik parçalar için stok bulundurulmaktadır.

- Senaryo 4 – İthal, Stoklu: Bileşenler ithal tedarikçilerden sağlanmakta, kritik parçalar için stok bulundurulmaktadır.

Her bir senaryoda, iki üretim modeli için MRP çıktıları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

- Yatai Seru üretim sisteminde, üretim akışı esnek, iş gücü çok yönlü ve montaj süresi kısadır.
- Sabit Konumlu Hat Dengeleme sisteminde ise üretim daha durağan, iş yükü dağılımı belirgindir ve toplam süre daha uzundur.

MRP hesaplamalarında; tedarik süresi, üretim süresi, birim maliyet (COGS) ve elde tutma maliyetleri esas alınmış, her iki sistemde de senaryolara göre malzeme ihtiyaçları, teslim süreleri ve stok maliyetleri analiz edilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, yalnızca tedarik kaynaklarının değil, aynı zamanda üretim modelinin de malzeme planlaması üzerindeki etkisi bütüncül biçimde değerlendirilmiştir. Sonraki alt başlıklarda, dört senaryo hem Yatai Seru hem de Sabit Konumlu üretim sistemleri temelinde ayrı ayrı incelenmiş; maliyet, tedarik süresi ve üretim çevrim performansları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

4.6.1. Senaryo 1 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz

Bu senaryoda üretimde kullanılacak bileşenler tamamen yerli tedarikçilerden, stok tutulmaksızın temin edilmiştir. Malzeme ihtiyaç planlaması lot-for-lot (LFL) politikası ile yapılmış; her dönemde yalnızca net ihtiyaç kadar sipariş verilmiştir. Stok bulundurulmaması, elde tutma maliyetlerini ortadan kaldırmış; ancak tedarik süresi boyunca üretim hattında beklemelere neden olmuştur.

Yatai Seru Üretim Süreci

Bu modelde üretim süreci çok becerili tek bir teknisyen tarafından yürütülmekte ve faaliyet geçişleri arasında bekleme süresi minimum düzeydedir.

Bu senaryoda:

- Şasi, ilk kritik bileşendir ve yerli tedarikçiden 4 gün gecikmeyle temin edilmiştir.
- Ön dingil, mil yatağı ve kablo kanalları ise 3 gün içinde sağlanmıştır.
- Üretim hattı montaja 5. günde başlamış, montaj süresi yaklaşık 113 saat (14 gün) olarak gerçekleşmiştir.

Böylece toplam teslim süresi 19. gün olarak belirlenmiştir. Yerli tedarik tercihleri nedeniyle birim üretim maliyeti 62.789 USD olarak hesaplanmıştır.

Sabit Konumlu Montaj Süreci

Sabit konumlu montaj modelinde üretim faaliyetleri, mekanik ve elektrik teknisyenleri arasında paylaştırılmıştır. Faaliyetlerin birbirine bağımlı ilerlemesi nedeniyle, bir teknisyenin işlemini tamamlamadan diğer teknisyenin sürece başlayamaması atıl zamanlara yol açmıştır.

Bu senaryoda:

- Şasi bileşeni yine 4 günlük gecikmeyle tedarik edilmiştir.
- Diğer alt bileşenler (ön dingil, bağlantı elemanları, kablo kanalları) da yalnızca ihtiyaç anında sipariş edilmiştir.
- Üretim hattı montaja 5. günde başlamış, montaj süresi yaklaşık 136 saat (17 gün) sürmüş, toplam teslim süresi 22. gün olarak gerçekleşmiştir.

Maliyet yine 62.789 USD olarak hesaplanmıştır; ancak süreç boyunca iş gücü beklmeleri nedeniyle toplam çevrim süresi uzamıştır.

Karşılaştırmalı Değerlendirme

Yerli–stoksuz senaryoda stok maliyeti oluşmamaktadır; ancak kritik bileşenlerin gecikmeli tedariki üretim süresini uzatmaktadır.

- Yatai Seru modeli, üretim esnekliği ve faaliyet geçiş hızının yüksek olması sayesinde toplamda 3 gün daha kısa teslim süresi sağlamıştır.
- Sabit konumlu model, faaliyet bağımlılığı nedeniyle bekleme süreleri barındırmakta ve bu durum toplam çevrim süresini uzatmaktadır.

Sonuç olarak, bu senaryo stok maliyetini ortadan kaldırmakla birlikte teslimat süresinde esneklik gerektiren durumlarda uygulanabilir; ancak teslim tarihinin kritik olduğu üretim planlarında riskli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 7 MRP Sonuçları - Senaryo 1 (Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz Üretim Modeli)

Üretim Modeli	Tedarik Stratejisi	Gecikme (gün)	Montaj Süresi (gün)	Toplam Süre (gün)	COGS (USD)
----------------------	---------------------------	----------------------	----------------------------	--------------------------	-------------------

Yatai Seru	Yerli/Yerli – Stoksuz	4	14	19	62.789
Sabit Konumlu	Yerli/Yerli – Stoksuz	4	17	22	62.789

4.6.2. Senaryo 2 – İthal, Stoksuz

Bu senaryoda üretim sürecinde ihtiyaç duyulan bileşenler ithal tedarikçilerden, stok tutulmaksızın temin edilmektedir. Malzeme ihtiyaç planlaması yine lot-for-lot (LFL) politikasıyla yürütülmüş; yalnızca üretim döneminde ihtiyaç duyulan miktarda sipariş verilmiştir. İthal tedariklerde gümrük işlemleri, lojistik süreleri ve döviz kuruna bağlı fiyat değişimleri nedeniyle temin süresi uzamış, üretim başlangıcı gecikmiştir.

Yatai Seru Üretim Süreci

Yatai Seru modelinde üretim faaliyetleri çok becerili bir teknisyen tarafından yürütülmekte, faaliyet geçişleri minimum bekleme süresiyle gerçekleşmektedir. Ancak ithal tedarik süresi, bu modelin esnekliğini sınırlamıştır.

Bu senaryoda:

- Kritik parçaların ithal tedarikçilerden temin edilmesinden kaynaklı üretim 13 günlük gecikme ile başlamıştır.
- Üretim hattı montaja 14. günde başlamış ve montaj süresi yaklaşık 113 saat (14 gün) olarak gerçekleşmiştir.

Toplam teslim süresi 28. gün olarak belirlenmiştir. İthal tedarik maliyetleri etkisiyle birim üretim maliyeti 53.490 USD olarak hesaplanmıştır.

Sabit Konumlu Montaj Süreci

Sabit konumlu hat dengelemede faaliyetler iki farklı teknisyen arasında dağıtılmıştır. İthal tedarik süresinin uzun olması, bu sistemde faaliyetlerin ardışıklığı nedeniyle bekleme sürelerini artırmıştır.

Bu senaryoda:

- Kritik parçaların ithal tedarikçilerden temin edilmesinden kaynaklı üretim 13 günlük gecikme ile başlamıştır.
- Montaj süreci 14. günde başlamış, mekanik ve elektrik işlemleri sırasıyla yürütülmüştür.

- Montaj süresi yaklaşık 136 saat (17 gün) olup toplam teslim süresi 31. gün olarak gerçekleşmiştir.

Bu modelde maliyet 53.490 USD seviyesindedir. Ancak faaliyetlerin ardışık ilerlemesi, özellikle ithal parça temininde yaşanan gecikmelerin etkisini daha da belirgin hale getirmiştir.

Karşılaştırmalı Değerlendirme

İthal–stoksuz senaryoda tedarik süresinin uzunluğu, her iki üretim sisteminde de üretim başlangıcını önemli ölçüde geciktirmiştir.

- Yatai Seru modeli, esnek yapısı sayesinde üretim süresini 3 gün daha erken tamamlamış, ancak uzun tedarik süresi nedeniyle toplam teslim süresi 28 gün olmuştur.
- Sabit konumlu model, ardışık faaliyet yapısı nedeniyle 31 günde tamamlanmıştır.

Her iki sistem de stok maliyetinden kaçınmakla birlikte, teslim süresinin uzaması finansal çevrimi olumsuz etkilemiştir. İthal tedarik süresinin uzunluğu, işletme sermayesinin kullanımını artırmakta ve nakit çevrim süresini uzatmaktadır.

Tablo 8 MRP Sonuçları - Senaryo 2 (İthal Tedarik, Stoksuz Üretim Modeli)

Üretim Modeli	Tedarik Stratejisi	Gecikme (gün)	Montaj Süresi (gün)	Toplam Süre (gün)	COGS (USD)
Yatai Seru	İthal – Stoksuz	13	14	28	53.490
Sabit Konumlu	İthal – Stoksuz	13	17	31	53.490

4.6.3. Senaryo 3 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu

Bu senaryoda, üretim sürecinde kullanılan bileşenler tamamen yerli tedarikçilerden sağlanmış ve kritik parçalar üretim öncesinde stokta bulundurulmuştur. Malzeme ihtiyaç planlaması (MRP) kapsamında belirlenen emniyet stok seviyeleri, tedarik süresinden kaynaklanabilecek gecikmeleri önlemeyi amaçlamaktadır. Böylece üretim hattının kesintisiz biçimde çalışması sağlanmış ve faaliyetler arasında bekleme süreleri minimize edilmiştir.

Yatai Seru Üretim Süreci

Yatai Seru modelinde üretim süreci, çok becerili bir teknisyen tarafından yürütülmekte ve tüm parçalar üretim başlangıcında hazır bulundurulduğu için tedarik kaynaklı bekleme süresi oluşmamaktadır.

Bu senaryoda:

- Şasi, ön dingil, mil yatağı ve diğer alt bileşenler stokta hazır durumdadır.
- Üretim montajına 1. günde başlanmış, montaj süresi yaklaşık 113 saat (14 gün) sürmüştür.
- Toplam teslim süresi 14. gün olarak gerçekleşmiştir. Stok bulundurmanın getirdiği ek maliyetlere rağmen üretim süreci kesintisiz biçimde tamamlanmış, teslim süresi açısından en verimli sonuç elde edilmiştir.
- Bu senaryoda birim maliyet 63.508 USD olarak hesaplanmıştır.

Sabit Konumlu Montaj Süreci

Sabit konumlu üretim modelinde de kritik parçalar üretim başlangıcında stokta bulundurulmuştur. Bu nedenle tedarik kaynaklı gecikme yaşanmamıştır.

Bu modelde:

- Üretim montajına 1. günde başlanmış, faaliyetler mekanik ve elektrik teknisyenleri arasında paylaştırılmıştır.
- Montaj süresi yaklaşık 136 saat (17 gün) olup toplam teslim süresi 17. gün olarak gerçekleşmiştir.
- Üretim süreci kesintisiz biçimde yürütülmüş, ancak faaliyetlerin birbirine bağımlı ilerlemesi nedeniyle çevrim süresi Yatai Seru modeline göre 3 gün daha uzun olmuştur.
- Birim maliyet 63.766 USD olarak hesaplanmıştır.

Karşılaştırmalı Değerlendirme

Yerli–stoklu senaryo, üretim sürekliliği açısından en dengeli yapıyı sunmaktadır.

- Yatai Seru modeli, iş gücü esnekliği sayesinde üretim sürecini 14 günde tamamlamış, stokların hazır olması sayesinde kesintisiz ilerlemiştir.
- Sabit konumlu model ise 17 günde tamamlanmış, faaliyet geçişlerinde doğal atıl zamanlar yaşanmıştır.

Stok bulundurmanın getirdiği ek maliyetlere karşın, üretim süresinin kısalması müşteri teslimatında zaman avantajı sağlamıştır.

Tablo 9 MRP Sonuçları - Senaryo 3 (Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu Üretim Modeli)

Üretim Modeli	Tedarik Stratejisi	Gecikme (gün)	Montaj Süresi (gün)	Toplam Süre (gün)	COGS (USD)
Yatai Seru	Yerli/Yerli – Stoklu	0	14	14	63.508
Sabit Konumlu	Yerli/Yerli – Stoklu	0	17	17	63.766

4.6.4. Senaryo 4 – İthal, Stoklu

Bu senaryoda, üretimde kullanılacak bileşenler ithal tedarikçilerden sağlanmış, ancak üretim öncesinde kritik parçalar stokta bulundurulmuştur. Malzeme ihtiyaç planlaması (MRP) kapsamında belirlenen stok seviyeleri, uzun tedarik süresine sahip bileşenlerde üretim sürecinin gecikmeden ilerlemesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, ithal tedarik sürelerinin yarattığı bekleme riskini ortadan kaldırırken, elde tutma maliyetini artırmaktadır.

Yatai Seru Üretim Süreci

Yatai Seru modelinde üretim faaliyetleri çok becerili bir teknisyen tarafından yürütülmektedir. İthal parçaların önceden stokta bulundurulması sayesinde üretim hattında herhangi bir bekleme yaşanmamıştır.

Bu senaryoda:

- Şasi, ön dingil, mil yatağı ve diğer bileşenler stokta hazırdır.
- Montaj süreci 1. günde başlatılmış ve yaklaşık 113 saat (14 gün) sürmüştür.
- Toplam teslim süresi 14. gün olarak gerçekleşmiştir.

Stok bulundurmanın getirdiği finansal yük, birim maliyete yansımış; ancak üretim sürecinde gecikme yaşanmaması üretim performansını artırmıştır. Bu senaryoda birim maliyet 54.900 USD olarak hesaplanmıştır.

Sabit Konumlu Montaj Süreci

Sabit konumlu üretim modelinde de ithal bileşenler stokta bulundurulmuştur. Böylece üretim öncesi bekleme süreleri ortadan kalkmış, faaliyetler kesintisiz biçimde yürütülmüştür.

Bu modelde:

- Üretim montajına 1. günde başlanmış, mekanik ve elektrik montaj faaliyetleri ardışık biçimde gerçekleştirilmiştir.
- Montaj süresi yaklaşık 136 saat (17 gün) olup toplam teslim süresi 17. gün olarak gerçekleşmiştir.
- Faaliyetlerin birbirine bağımlı ilerlemesi nedeniyle üretim süresi Yatai Seru'ya göre 3 gün daha uzun sürmüştür.
- Birim maliyet 55.289 USD olarak hesaplanmıştır.

Karşılaştırmalı Değerlendirme

İthal–stoklu senaryo, teslim süresi açısından yüksek verimlilik sağlarken, stok bulundurma maliyeti nedeniyle finansal açıdan daha maliyetli bir yapı ortaya koymaktadır.

- Yatai Seru modeli, üretim çevikliğini koruyarak 14 günde teslimat gerçekleştirmiştir.
- Sabit konumlu model, faaliyet bağımlılığı nedeniyle 17 günde tamamlanmıştır.

Her iki sistemde de stokun hazır bulunması tedarik kaynaklı gecikmeleri ortadan kaldırmış; ancak ithal parça maliyetleri birim üretim maliyetini artırmıştır.

Tablo 10 MRP Sonuçları - Senaryo 4 (İthal Tedarik, Stoklu Üretim Modeli)

Üretim Modeli	Tedarik Stratejisi	Gecikme (gün)	Montaj Süresi (gün)	Toplam Süre (gün)	COGS (USD)
Yatai Seru	İthal – Stoklu	0	14	14	54.900
Sabit Konumlu	İthal – Stoklu	0	17	17	55.289

4.7. Maliyet Analizi Yöntemi

Stok yönetimi literatüründe maliyet analizi, stok politikalarının belirlenmesinde temel bir karar kriteri olarak ele alınmaktadır. Klasik envanter teorisi, toplam maliyetin üç temel bileşenden oluştuğunu ortaya koymaktadır: elde tutma maliyetleri, sipariş maliyetleri

ve stokout maliyetleri (Hadley & Whitin, 1963; Silver, Pyke & Peterson, 1998; Chopra & Meindl, 2016). Bu çalışmada odak noktası, üretim planlamasında kritik rol oynayan elde tutma maliyetleri ve sipariş maliyetleridir. Maliyet analizi yöntemi kapsamında, öncelikle faaliyet tabanlı maliyetleme (ABC) yaklaşımı kullanılarak depo sabit giderlerinin (kira, personel, enerji, sigorta vb.) ürünlere dağıtılması sağlanmıştır. Böylece sabit maliyetler, ortalama eldeki stok miktarı dikkate alınarak birim başına günlük sabit maliyet katsayısı şeklinde tanımlanmıştır. Bu katsayı, elde tutma maliyetleri hesaplamalarında tüm ürünler için ortak bir çarpan olarak kullanılmıştır. Değişken maliyetlerin hesaplanmasında ise ürünlerin birim fiyatları ve stokta kalma süreleri esas alınmıştır. Literatürde yaygın kabul gören yıllık %20–30 aralığındaki sermaye maliyeti oranlarından %25 tercih edilerek, finansal sermaye maliyeti ve risk faktörleri modele entegre edilmiştir. Böylece her ürün için elde tutma maliyeti iki bileşen üzerinden hesaplanmıştır:

- Sabit bileşen: $H_{sabit} = f \times t \times Q$
- Değişken bileşen: $H_{değişken} = \frac{t}{365} \times (i + r) \times C \times Q$

Burada f sabit katsayı (USD/birim-gün), t stokta kalma süresi (gün), Q ürün miktarı, C ürünün USD cinsinden fiyatı ve $i + r$ yıllık sermaye + risk oranını ifade etmektedir. Sipariş maliyetlerinin hesaplanmasında ise her siparişin tetiklenmesi sırasında ortaya çıkan sabit işlem giderleri dikkate alınmıştır. Literatürde, sipariş maliyetleri; satın alma birimi personel giderleri, muhasebe işlemleri, tedarikçi iletişimi, nakliye ve gümrükleme gibi kalemlerden oluşmaktadır (Ballou, 2004; Axsäter, 2006). Bu çalışmada sipariş maliyetleri, malzemenin yerli/yerli tedarikçi veya ithal olmasına göre farklılaşmaktadır. Yerli tedarikçi senaryosunda sipariş maliyetleri görece düşük kalırken, ithal senaryosunda ek nakliye, gümrük ve işlem maliyetleri sebebiyle birim sipariş maliyetleri yükselmektedir. Ayrıca, MRP (Material Requirements Planning) çıktıları dikkate alınarak stok politikaları optimize edilmiştir. MRP analizleri sonucunda, bazı malzemelerin stokta tutulmasına gerek olmadığı belirlenmiş; bu parçalar için elde tutma maliyeti 0 kabul edilmiştir. Böylece maliyet analizinde yalnızca stoklanması gereken kalemler dikkate alınarak, toplam maliyetlerin hesaplanması sağlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan maliyet analizi yöntemi, literatürdeki klasik stok yönetimi modelleri ile faaliyet tabanlı maliyetleme yaklaşımını birleştirmekte; elde tutma ve sipariş maliyetleri hem yerli/yerli tedarikçi hem de ithal senaryoları için ayrı ayrı hesaplanarak karşılaştırmalı bir çerçeve sunmaktadır.

4.7.1. Elde Tutma Maliyetleri

Stok yönetimi literatüründe elde tutma maliyetleri, stokların depoda bulundurulmasından kaynaklanan ve sabit ile değişken bileşenlerden oluşan maliyetlerdir. Sabit bileşen; kira, sigorta, enerji, güvenlik ve personel gibi ürün değerinden bağımsız giderleri; değişken bileşen ise ürünün birim değerine bağlı sermaye maliyeti ve risk unsurlarını (bozulma, değer kaybı vb.) kapsar (Hadley & Whitin, 1963; Silver, Pyke & Peterson, 1998; Chopra & Meindl, 2016). Çalışmada parçaların ağırlıklı olarak USD ile tedarik edilmesi ve nihai satışın USD cinsinden yapılacak olması nedeniyle tüm hesaplamalar USD cinsinden gerçekleştirilmiştir.

Tanımlar ve Parametreler

- t : stokta kalma süresi (gün)
- Q : miktar (adet/parça/paket)
- C_{USD} : malzemenin birim maliyeti (USD)
- $i + r$: yıllık sermaye + risk oranı (bu çalışmada 0,25)
- Kur: 41 (TL/USD)
- Ortalama eldeki stok: 144 birim

Sabit Maliyet (ABC)

Sabit maliyetler **faaliyet tabanlı maliyetleme (ABC)** yaklaşımıyla depo alanına düşen kira + personel giderlerinden türetilmiştir:

- Yıllık kira: 5.040.000 TL
- Toplam alan: $660 m^2$, depo alanı: $72 m^2 \rightarrow$ Depo kira payı $= 5.040.000 \times \frac{72}{660} = 549.818 TL/yıl$
- Depo personel: 624.000 TL/yıl
- Toplam sabit gider (yıl): $549.818 + 624.000 = 1.173.818 TL$
- Günlük sabit gider: $1.173.818 / 365 = 3.215,94 TL/gün$
- USD/gün: $3.215,94/41 = 78,44 USD/gün$
- Birim başın günlük sabit maliyet: $78,44/144 \approx 0,54 USD/birim-gün$

Her malzeme için:

$$H_{sabit} = 0,54 \times t \times Q$$

Burada t gün, Q ise adet/parça sayısıdır. (MRP'ye göre stok tutulmayan malzemeler için $t=0$ alınır; böylece sabit maliyet 0 olur.)

Değişken Maliyet

Değişken maliyet literatürde yaygın biçimde ürün değeri $\times$ yıllık oran $\times$ stokta kalma payı ile hesaplanır:

$$H_{değişken} = \frac{t}{365} \times (i + r) \times C_{USD} \times Q = \frac{0,25}{365} \times C_{USD} \times t \times Q$$

MRP gereği stok tutulmayan malzemelerde $t = 0$ olduğundan değişken maliyet de 0'dır.

Toplam Elde Tutma Maliyeti

$$H_{toplam} = H_{sabit} + H_{değişken}$$

Yerli/Yerli Tedarikçi (Stoklu) Senaryosu

Bu senaryoda malzemeler yerli/yerli tedarikçiden temin edilmekle birlikte tüm maliyetler USD cinsinden raporlanmaktadır. Tedarik süreleri görece kısa olduğundan t değerleri düşüktür; buna karşın C_{USD} görece yüksek olduğunda değişken maliyet bileşeni belirginleşir. Her malzemenin elde tutma maliyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. MRP analizinde “stok tutulmayacak” olarak işaretlenen malzemelerde $t = 0$ alınmış; ilgili satırda maliyetler 0 gösterilmiştir.

Tablo 11 Yerli/Yerli Tedarikçi (Stoklu) Senaryosunda Elde Tutma Maliyetleri (USD)

No:	Malzeme Listesi	Ölçü Birimi	Miktar	Menşei Ülke (Yerli / Yerli Tedarikçi / İthal)	Yerli / Yerli Tedarikçi Stokta Kalma (Gün)	Elde Tutma Maliyeti (Sabit Maliyet) (USD)	Elde Tutma Maliyeti (Değişken Maliyet) (USD)	Toplam Elde Tutma Maliyeti (USD)
1	Şasi	Adet	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	13,3	18,1
2	Dingil	Adet	1	Yerli / Türkiye	10	5,4	2,1	7,5
3	Mil Yatağı	Adet	2	Yerli / Türkiye	10	10,8	2,4	13,2
4	Kablolar	Metre	120	Yerli / Türkiye	10	5,4	4,4	9,8
5	Depo	Adet	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	2,1	7,0
6	Depo Motoru	Adet	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	1,3	6,2

7	Depo Motor sürücüsü	Adet	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	1,1	5,9
8	Depo Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	2,0	6,9
9	Manevra motoru	Adet	4	Yerli Tedarikçi	8	17,3	52,9	70,2
10	Manevra tahrik sistemi mil	Adet	4	Yerli / Türkiye	8	17,3	3,5	20,7
11	Redüktör	Adet	4	Yerli Tedarikçi	8	17,3	50,5	67,8
12	Manevra motoru sürücüsü	Adet	4	Yerli Tedarikçi	8	17,3	16,5	33,7
13	Tekerlek kulesi	Adet	4	Yerli / Türkiye	8	17,3	19,7	36,9
14	Tahrik motoru	Adet	4	Yerli Tedarikçi	9	19,4	166,1	185,6
15	Tahrik motoru sürücüsü	Adet	4	Yerli Tedarikçi	9	19,4	64,2	83,7
16	Tahrik Sistem Bileşenleri	Paket	4	Yerli / Türkiye	10	21,6	32,9	54,5
17	Emiş sistemi	Paket	1	Yerli / Türkiye	10	5,4	0,6	6,0
18	Sensörler	Adet	22	Yerli / Türkiye	10	5,4	4,4	9,8
19	Toplama bacası Motoru	Adet	14	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-
20	Toplama bacası Motor sürücüsü	Adet	14	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-
21	Toplama bacası STM	Adet	4	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-
22	Toplama bacası Röle	Adet	32	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
23	Toplama Bacası Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
24	Metal pnömatik	Metre	6	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
25	Batarya	Paket	1	Yerli / Türkiye	6	3,2	74,1	77,3
26	Kompresör	Adet	2	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
27	Pnömatik sistem	Paket	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
28	Pano	Adet	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
29	Pano Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
30	Anakart	Adet	4	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-

31	Sigorta	Set	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
32	Jetson Orin	Adet	1	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-
33	Mini PC	Adet	1	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-
34	İnvertör	Adet	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
35	Aktüatör	Adet	2	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
36	Toplama ünitesi aydınlatma	Set	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
37	Toplama baca kameraları	Adet	2	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-
38	Tekerlek	Adet	4	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
39	Lidar	Adet	2	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-
40	Robot Yön Kameraları	Adet	2	Yerli Tedarikçi	-	-	-	-
41	Diğer Bileşenler	Paket	2	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
42	Kabuk	Set	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-

İthal (Stoklu) Senaryosu

İthal kalemlerde C_{USD} görece düşük olabilir; ancak tedarik süreleri uzun olduğundan t artar ve **sabit maliyet** bileşeni büyür. Yine de hesap yöntemi aynıdır; tüm girdiler USD cinsindendir.

Her malzemenin elde tutma maliyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. MRP “stok tutma” gereği görülmeyen kalemlerde $t = 0$ kabul edilmiştir.

Tablo 12 İthal (Stoklu) Senaryosunda Elde Tutma Maliyetleri (USD)

No:	Malzeme Listesi	Ölçü Birimi	Miktar	Menşei Ülke (Yerli / Yerli Tedarikçi / İthal)	İthal Tedarikçi Stokta Kalma (Gün)	Elde Tutma Maliyeti (Sabit Maliyet) (USD)	Elde Tutma Maliyeti (Değişken Maliyet) (USD)	Toplam Elde Tutma Maliyeti (USD)
1	Şasi	Adet	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	13,3	18,1
2	Dingil	Adet	1	Yerli / Türkiye	10	5,4	2,1	7,5
3	Mil Yatağı	Adet	2	Yerli / Türkiye	10	10,8	2,4	13,2
4	Kablolar	Metre	120	Yerli / Türkiye	10	5,4	4,4	9,8
5	Depo	Adet	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	2,1	7,0

6	Depo Motoru	Adet	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	1,3	6,2
7	Depo Motor sürücüsü	Adet	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	1,1	5,9
8	Depo Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	2,0	6,9
9	Manevra motoru	Adet	4	İthal (Çin)	12	25,9	51,7	77,6
10	Manevra tahrik sistemi mil	Adet	4	Yerli / Türkiye	8	17,3	3,5	20,7
11	Redüktör	Adet	4	İthal (Çin)	12	25,9	49,5	75,4
12	Manevra motoru sürücüsü	Adet	4	İthal (Çin)	12	25,9	18,0	43,9
13	Tekerlek kulesi	Adet	4	Yerli / Türkiye	8	17,3	19,7	36,9
14	Tahrik motoru	Adet	4	İthal (Çin)	12	25,9	139,1	165,0
15	Tahrik motoru sürücüsü	Adet	4	İthal (Çin)	12	25,9	55,5	81,4
16	Tahrik Sistem Bileşenleri	Paket	4	Yerli / Türkiye	9	19,4	29,6	49,0
17	Emiş sistemi	Paket	1	Yerli / Türkiye	9	4,9	0,5	5,4
18	Sensörler	Adet	22	Yerli / Türkiye	9	4,9	4,0	8,8
19	Toplama bacası Motoru	Adet	14	İthal (Çin)	12	90,7	196,5	287,2
20	Toplama bacası Motor sürücüsü	Adet	14	İthal (Çin)	12	90,7	101,2	191,9
21	Toplama bacası STM	Adet	4	İthal (Çin)	12	25,9	12,2	38,1
22	Toplama bacası Röle	Adet	32	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
23	Toplama Bacası Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
24	Metal pnömatik	Metre	6	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
25	Batarya	Paket	1	Yerli / Türkiye	6	3,2	74,1	77,3
26	Kompresör	Adet	2	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
27	Pnömatik sistem	Paket	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
28	Pano	Adet	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
29	Pano Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
30	Anakart	Adet	4	İthal (ABD)	12	25,9	29,1	55,0

31	Sigorta	Set	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
32	Jetson Orin	Adet	1	İthal (ABD)	12	6,5	4,8	11,3
33	Mini PC	Adet	1	İthal (ABD)	12	6,5	1,9	8,4
34	İnvertör	Adet	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
35	Aktüatör	Adet	2	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
36	Toplama ünitesi aydınlatma	Set	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
37	Toplama baca kameraları	Adet	2	İthal (ABD)	12	13,0	14,3	27,3
38	Tekerlek	Adet	4	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
39	Lidar	Adet	2	İthal (ABD)	12	13,0	33,6	46,5
40	Robot Yön Kameraları	Adet	2	İthal (ABD)	12	13,0	14,3	27,3
41	Diğer Bileşenler	Paket	2	Yerli / Türkiye	-	-	-	-
42	Kabuk	Set	1	Yerli / Türkiye	-	-	-	-

4.7.2. Sipariş Maliyetleri

Bu çalışmada sipariş maliyetleri; sipariş açma, tedarikçiyle yazışma/onay, ödeme–muhasabe ve giriş kalite gibi idari faaliyetler ile sevkiyat/ithalat süreçlerine özgü işlem giderlerinin toplamı olarak ele alınmış ve parça düzeyinde hesaplanmıştır. MRP kurgusu LFL (lot-for-lot) politikasıyla yürütülmüş; bu nedenle birim kalemlerin sipariş adetleri düşük, sipariş sıklığı yüksek gerçekleşmiş ve parça bazlı değerlendirme tercih edilmiştir. Çalışma kapsamındaki bileşenler yerli ve ithal kritik kalemlerden oluşmaktadır. Hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Malzemenin menşei/tedarik şekline göre iki model uygulanmıştır:

- (A) Yerli / Yerli Tedarikçi modeli: Yerli menşeli kalemlerde ve “Yerli Tedarikçi” ibareli kalemlerde aynı formül kullanılmıştır.
- (B) İthal model: İthal kalemlerde ithalata özgü vergi ve aracı giderleri eklenmiştir.

(A) Yerli / Yerli Tedarikçi modeli:

Yerli tedarikte idari maliyet sipariş başına sabit; lojistik/nakliye bileşeni parça tutarına orantılı %3 olarak kabul edilmiştir.

Sipariş başına:

$$S_i^{(y)} = S_{idari}^{(y)} + 0,03(c_i Q_i), S_{idari}^{(y)} = 4,5 \text{ USD}$$

Adet başına:

$$SC_{i,adet}^{(y)} = \frac{S_i^{(y)}}{Q_i} = \frac{4,5}{Q_i} + 0,03c_i$$

(B) İthal modeli:

İthal kalemlerde tedarikçinin bildirdiği birim fiyat c_i CIF (Cost-Insurance-Freight; mal bedeli + sigorta + navlun dâhil) niteliğinde kabul edilmiştir. Buna ek olarak %14 gümrük vergisi, gümrük müşavirliği ücreti (80 USD/sevk) ve idari sabit (9 USD/sipariş) uygulanmıştır.

Sipariş başına:

$$SC_{i,adet}^{(i)} = \frac{S_i^{(i)}}{Q_i} = \frac{9}{Q_i} + 0,14c_i + \frac{80}{Q_i}$$

Değişkenler ve birimler

- $S_i^{(y)}, S_i^{(i)}$ (USD/sipariş): Kalem i için sipariş başına toplam sipariş maliyeti (yerli/ithal).
- $SC_{i,adet}^{(.)}$ (USD/adet): Kalem i için adet başına sipariş maliyeti.
- $S_{idari}^{(y)}, S_{idari}^{(i)}$ (USD/sipariş): Sabit idari maliyet (yerli: 4,5; ithal: 9).
- c_i (USD/adet): Kalem i 'nin birim fiyatı (ithalde CIF kabul edilmiştir).
- Q_i (adet): O siparişte alınan adet.
- $B_{müşavir}$ (USD/sipariş): Gümrük müşavirliği ücreti (80).
- %3: Yerli lojistik/nakliye oranı; %14: ithal gümrük vergisi oranı.

“Yalnız yerli” kalemlerde yalnız (A); “Yerli Tedarikçi / İthal (ülke)” seçenekli kalemlerde her iki modelin sonucu hesaplanmış ve sunulmuştur. Parça bazında elde edilen S_i değerleri toplanarak ürün (robot) düzeyindeki toplam sipariş maliyeti elde edilmiştir. Hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Tablo 13 Sipariş Maliyetlerinin Karşılaştırılması

No:	Malzeme Listesi	Ölçü Birimi	Miktar	Menşei Ülke (Yerli / Yerli Tedarikçi / İthal)	Yerli / Yerli Tedarikçi Sipariş Maliyeti (USD)	İthal Sipariş Maliyeti (USD)
1	Şasi	Adet	1	Yerli / Türkiye	67	-
2	Dingil	Adet	1	Yerli / Türkiye	13	-
3	Mil Yatağı	Adet	2	Yerli / Türkiye	9	-
4	Kablolar	Metre	120	Yerli / Türkiye	23	-
5	Depo	Adet	1	Yerli / Türkiye	14	-
6	Depo Motoru	Adet	1	Yerli / Türkiye	11	-
7	Depo Motor sürücüsü	Adet	1	Yerli / Türkiye	10	-
8	Depo Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	14	-
9	Manevra motoru	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	75	271
10	Manevra tahrik sistemi mil	Adet	4	Yerli / Türkiye	9	-
11	Redüktör	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	72	263
12	Manevra motoru sürücüsü	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	26	145
13	Tekerlek kulesi	Adet	4	Yerli / Türkiye	31	-
14	Tahrik motoru	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	201	597
15	Tahrik motoru sürücüsü	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	80	285
16	Tahrik Sistem Bileşenleri	Paket	4	Yerli / Türkiye	39	-
17	Emiş sistemi	Paket	1	Yerli / Türkiye	7	-
18	Sensörler	Adet	22	Yerli / Türkiye	23	-
19	Toplama bacası Motoru	Adet	14	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	81	288
20	Toplama bacası Motor sürücüsü	Adet	14	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	42	186

21	Toplama bacası STM	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (Çin)	18	124
22	Toplama bacası Röle	Adet	32	Yerli / Türkiye	12	-
23	Toplama Bacası Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	53	-
24	Metal pnömatik	Metre	6	Yerli / Türkiye	7	-
25	Batarya	Paket	1	Yerli / Türkiye	530	-
26	Kompresör	Adet	2	Yerli / Türkiye	21	-
27	Pnömatik sistem	Paket	1	Yerli / Türkiye	6	-
28	Pano	Adet	1	Yerli / Türkiye	7	-
29	Pano Bileşenleri	Paket	1	Yerli / Türkiye	35	-
30	Anakart	Adet	4	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	42	187
31	Sigorta	Set	1	Yerli / Türkiye	10	-
32	Jetson Orin	Adet	1	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	28	150
33	Mini PC	Adet	1	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	11	106
34	İnvertör	Adet	1	Yerli / Türkiye	12	-
35	Aktüatör	Adet	2	Yerli / Türkiye	14	-
36	Toplama ünitesi aydınlatma	Set	1	Yerli / Türkiye	7	-
37	Toplama baca kameraları	Adet	2	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	42	185
38	Tekerlek	Adet	4	Yerli / Türkiye	11	-
39	Lidar	Adet	2	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	97	329
40	Robot Yön Kameraları	Adet	2	Yerli Tedarikçi / İthal (ABD)	42	185
41	Diğer Bileşenler	Paket	2	Yerli / Türkiye	7	-
42	Kabuk	Set	1	Yerli / Türkiye	155	-

4.7.3. Yerli ve İthal Tedarik Karşılaştırmaları

Maliyet analizi ve MRP sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, Afara Tarım Robotu üretiminde hem Yatai Seru hem de Sabit Konumlu Hat Dengeleme sistemleri altında dört farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolarda yalnızca ürün ve sipariş maliyetleri değil, aynı zamanda elde tutma maliyetleri ve üretim planlamasındaki gecikmeler de dikkate alınmıştır.

Tablo 14 Senaryolara Göre Robot Birim Maliyetleri ve Teslim Tarihleri (Yatai Seru)

Yatai Seru Üretim Sistemi Sonuçları					
Senaryo	Tedarik Modeli	Birim Maliyet (USD)	Teslim Tarihi	Gecikme	Açıklama
1	Yerli/Yerli Tedarikçi Stoksuz	62.789	18. gün	4 gün	Kritik parçalar stokta olmadığı için montaj 5. günde başlamış, teslimat 18. günde tamamlanmıştır.
2	İthal Stoksuz	53.490	27. gün	13 gün	İthal parçaların tedarik süresi uzun olduğundan montaj 14. günde başlamış, teslimat 27. günde tamamlanmıştır.
3	Yerli/Yerli Tedarikçi Stoklu	63.508	14. gün	0 gün	Kritik parçalar stoklandığı için montaj 0. günde başlamış, 14 günde tamamlanmıştır.
4	İthal Stoklu	54.900	14. gün	0 gün	Yerli ve ithal kritik parçalar stoklandığı için montaj 0. günde başlamış, teslimat 14. günde tamamlanmıştır.

Tablo 15 Senaryolara Göre Robot Birim Maliyetleri ve Teslim Tarihleri (Sabit Konumlu Hat Dengeleme)

Sabit Konumlu Hat Dengeleme Sonuçları					
Senaryo	Tedarik Modeli	Birim Maliyet (USD)	Teslim Tarihi	Gecikme	Açıklama
1	Yerli/Yerli Tedarikçi Stoksuz	62.789	22. gün	4 gün	Montaj süresi 17 gün olup, stok eksikliği nedeniyle üretim 5. günde başlamıştır.
2	İthal Stoksuz	53.490	31. gün	13 gün	İthal tedarik süresi uzamış, üretim 14. günde başlamış, toplam 31 günde tamamlanmıştır.
3	Yerli/Yerli Tedarikçi Stoklu	63.766	17. gün	0 gün	Stokta bulunan parçalar sayesinde montaj süreci kesintisiz yürütülmüş, 17 günde tamamlanmıştır.
4	İthal Stoklu	55.289	17. gün	0 gün	İthal parçalar önceden stoklandığı için üretim

					gecikmesiz olarak 17 günde tamamlanmıştır.
--	--	--	--	--	--

Senaryo Bazlı Değerlendirme

- Senaryo 1 (Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz):
Her iki üretim sisteminde de stok yetersizliği montaj başlangıcını geciktirmiştir. Yatai Seru sisteminde teslimat 18. günde tamamlanırken Sabit Konumlu sistemde 21. günde sonuçlanmıştır.
İş gücü koordinasyonunun daha esnek olduğu Yatai Seru sistemi, bu senaryoda 3 gün daha hızlı üretim süresi sağlamıştır.
- Senaryo 2 (İthal, Stoksuz):
İthal tedarik süresi uzun olduğundan, her iki sistemde de belirgin bir gecikme yaşanmıştır. Yatai Seru'da teslimat 27. günde, Sabit Konumlu sistemde 30. günde gerçekleşmiştir.
Maliyet avantajı korunmuş olsa da, operasyonel risk artmıştır.
- Senaryo 3 (Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu):
Her iki sistemde de gecikme yaşanmamıştır. Yatai Seru'da üretim 14 günde, Sabit Konumlu sistemde 17 günde tamamlanmıştır.
Stoklama maliyeti artmasına rağmen, yerli tedarik sürekliliği üretim planlamasında yüksek güvenilirlik sağlamıştır.
- Senaryo 4 (İthal, Stoklu):
Her iki sistemde de üretim gecikmesiz tamamlanmıştır. Yatai Seru'da üretim süresi 14 gün, Sabit Konumlu sistemde 17 gündür.
Bu senaryo, ithal tedarik avantajını zamanında teslimatla birleştirerek en dengeli sonuçları vermiştir.

Genel Karşılaştırma

- Maliyet Açısından:
İthal senaryolar (2 ve 4), yerli tedarik senaryolarına göre ortalama %15–20 daha düşük maliyetlidir. Ancak stok tutma stratejisi uygulandığında maliyet farkı azalmakta, finansal avantaj zaman maliyetiyle dengelenmektedir.
- Teslim Süresi Açısından:

Yatai Seru üretim modeli, sabit konumlu üretime göre ortalama %15 daha kısa teslim süresi sağlamıştır. Özellikle stoklu senaryolarda (3 ve 4) Seru sistemi 3 gün daha hızlı sonuç vermiştir.

- Operasyonel Risk Açısından:
İthal stoksuz stratejiler tedarik süresi riskini artırmakta; yerli stoklu stratejiler ise üretim güvenliğini maksimum düzeyde sağlamaktadır.

Stratejik Sonuç

Sonuçlar, üretim sistemi ile tedarik stratejisi arasında doğrudan bir etkileşim olduğunu göstermektedir.

- Yatai Seru sistemi, kısa çevrim süresi ve dinamik iş gücü yapısı sayesinde yerli tedarik stratejileriyle daha uyumludur.
- Sabit Konumlu sistem ise üretim akışı durağan olduğundan, tedarik süresi uzun ithal parçalarla bile daha dengeli sonuçlar üretebilmektedir.

Genel olarak, İthal Stoklu senaryo (Senaryo 4) her iki üretim sisteminde de zaman–maliyet dengesini en iyi şekilde sağlayan strateji olarak öne çıkmıştır. Ancak uzun vadede sürdürülebilir üretim planlaması için, Yerli Stoklu strateji (Senaryo 3) işletme sermayesi kontrolü ve teslim güvenliği açısından daha güvenilir bir alternatif sunmaktadır.

4.8. Çevrim Sürelerinin Hesaplanması

Çevrim süreleri, işletmelerin üretim ve finansal süreçlerini bütüncül biçimde değerlendirmeye imkân tanıyan önemli performans göstergeleridir. Literatürde çevrim süresi kavramı, işletmenin kaynaklarını ne kadar etkin kullandığını; stokların, malzemelerin ve nakdin ne hızda döndüğünü ölçen temel göstergelerden biri olarak tanımlanmaktadır. Özellikle üretim sistemlerinde çevrim sürelerinin kısa olması hem operasyonel esneklik hem de finansal sürdürülebilirlik açısından kritik kabul edilmektedir.

Bu tez kapsamında, Afara Tarım Robotunun üretim süreçleri için üç temel çevrim süresi incelenmiştir:

- Stok Çevrim Süresi (Days Inventory Outstanding – DIO): Stokların ortalama kaç gün elde tutulduğunu ve ne hızla tüketildiğini göstermektedir.

- Malzeme Çevrim Süresi (Material Cycle Time – MCT): Tedarik başlangıcından üretim ve montajın tamamlanarak ürünün fabrika çıkışına kadar geçen toplam süreyi ifade etmektedir.
- Nakit Çevrim Süresi (Cash Conversion Cycle – CCC): Nakit çıkışları ile nakit girişleri arasındaki zaman farkını ölçerek işletme sermayesinin etkinliğini ortaya koymaktadır.

Analizler hem Yatai Seru hem de Sabit Konumlu Hat Dengeleme üretim modelleri altında geliştirilen dört farklı tedarik senaryosu üzerinden yürütülmüştür:

1. Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoksuz
2. İthal – Stoksuz
3. Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoklu
4. İthal – Stoklu

Hesaplamalarda aşağıdaki kabuller esas alınmıştır:

- Robotun satış fiyatı 100.000 USD'dir.
- Satış bedelinin %50'si üretim başlamadan önce, kalan %50'si ise fabrika çıkışından hemen önce tahsil edilmektedir.
- Bu nedenle ürün müşteriye sevk edilmeden tüm tahsilat tamamlanmış kabul edilmiştir (DSO = 0 gün).
- Tedarikçilere ödeme vadeleri; yerli/yerli tedarikçiler için 15 gün, ithal tedarikler için ise peşin (0 gün) olarak alınmıştır.
- Maliyet analizleri sonucunda belirlenen senaryo bazlı birim maliyetler (COGS) sırasıyla;
 - Yatai Seru: 62.789 USD (S1), 53.490 USD (S2), 63.508 USD (S3), 54.900 USD (S4)
 - Sabit Konumlu: 62.789 USD (S1), 53.490 USD (S2), 63.766 USD (S3), 55.289 USD (S4) olarak hesaplanmıştır.
- MRP çıktıları doğrultusunda fabrika çıkışı teslim süreleri:
 - Yatai Seru için: S1 – 18 gün, S2 – 27 gün, S3 – 14 gün, S4 – 14 gün
 - Sabit Konumlu için: S1 – 21 gün, S2 – 30 gün, S3 – 17 gün, S4 – 17 gün olarak belirlenmiştir.

Bu çerçevede, izleyen alt başlıklarda her bir çevrim süresi (DIO, MCT, CCC) için literatürde yer alan formüller kullanılarak hem Yatai Seru hem de Sabit Konumlu üretim sistemlerine ait senaryo bazlı hesaplamalar yapılmış; elde edilen sonuçlar tablolar hâlinde sunularak üretim modeli ve tedarik stratejisi açısından karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir.

4.8.1. Stok Çevrim Süresi

Stok çevrim süresi (Days Inventory Outstanding – DIO), işletmenin ortalama stoklarını kaç gün elde tuttuğunu ve stokların ne hızla tüketildiğini gösteren önemli bir performans göstergesidir. DIO’nun yüksek olması, işletme sermayesinin stoklarda daha uzun süre bağlı kaldığını; düşük olması ise stokların hızlı devrettiğini ifade eder. Literatürde bu gösterge şu formülle hesaplanmaktadır:

$$DIO = \frac{\text{Ortalama Stok Değeri}}{\text{Günlük Satılan Malın Maliyeti (COGS)}}$$

Burada:

- Ortalama Stok Değeri, analiz dönemi boyunca elde tutulan stokların parasal değerinin ortalamasıdır.
- COGS (Cost of Goods Sold), ürünün toplam maliyetidir.
- Günlük COGS, birim maliyetin üretim süresine bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada üretim modeli siparişe göre üretim (Make to Order – MTO) olduğundan bitmiş ürün stoku bulunmamaktadır. Dolayısıyla stok çevrim süresi, fiilen üretim ve montaj süresiyle örtüşmekte ve her senaryoda ortalama stok günleri üretim süresine eşitlenmektedir. Aşağıda hem Yatai Seru hem Sabit Konumlu Hat Dengeleme modelleri için hesaplamalar verilmiştir.

Yatai Seru Üretim Modeli

- **Senaryo 1 (Yerli/Yerli Tedarikçi, stoksuz)**
 - Birim maliyet (COGS): 62.789 USD
 - Üretim süresi: 18 gün
 - Günlük COGS = 62.789 / 18 = 3.488,28 USD/gün
 - Ortalama stok $\approx$ 62.789 USD
 - DIO = 62.789 / 3.488,28 = 18 gün

- **Senaryo 2 (İthal, stoksuz)**
 - Birim maliyet (COGS): 53.490 USD
 - Üretim süresi: 27 gün
 - Günlük COGS = $53.490 / 27 = 1.981,11$ USD/gün
 - Ortalama stok ≈ 53.490 USD
 - DIO = $53.490 / 1.981,11 = 27$ gün
- **Senaryo 3 (Yerli/Yerli Tedarikçi, stoklu)**
 - Birim maliyet (COGS): 63.508 USD
 - Üretim süresi: 14 gün
 - Günlük COGS = $63.508 / 14 = 4.536,29$ USD/gün
 - Ortalama stok ≈ 63.508 USD
 - DIO = $63.508 / 4.536,29 = 14$ gün
- **Senaryo 4 (İthal, stoklu)**
 - Birim maliyet (COGS): 54.900 USD
 - Üretim süresi: 14 gün
 - Günlük COGS = $54.900 / 14 = 3.921,43$ USD/gün
 - Ortalama stok ≈ 54.900 USD
 - DIO = $54.900 / 3.921,43 = 14$ gün

Stok çevrim süresi senaryolara göre önemli farklılıklar göstermektedir. En uzun çevrim süresi 27 gün ile ithal stoksuz senaryoda (S2) ortaya çıkmıştır. Bu durum, ithal parçaların uzun tedarik sürelerinden kaynaklanmakta ve işletme sermayesinin uzun süre stoklarda bağlı kalmasına yol açmaktadır. En kısa çevrim süreleri ise 14 gün ile stoklu senaryolarda (S3 ve S4) elde edilmiştir. Kritik parçaların önceden stoklanması sayesinde üretim kesintisiz başlamış ve stoklar hızlı bir şekilde devredilmiştir. Yerli stoklu senaryo (S3), düşük çevrim süresine rağmen yüksek maliyet yükü getirmektedir; buna karşılık ithal stoklu senaryo (S4), düşük maliyet ile kısa çevrim süresini birlikte sağlamaktadır. Genel olarak stok çevrim süresi bakımından en dezavantajlı seçenek ithal stoksuz senaryo (S2) iken, en avantajlı seçenekler stoklu senaryolar (S3 ve S4) olmuştur.

Sabit Konumlu Hat Dengeleme Üretim Modeli

- **Senaryo 1 (Yerli/Yerli Tedarikçi, stoksuz)**
 - Birim maliyet (COGS): 62.789 USD
 - Üretim süresi: 21 gün
 - Günlük COGS = $62.789 / 21 = 2.990,90$ USD/gün
 - Ortalama stok ≈ 62.789 USD
 - DIO = $62.789 / 2.990,90 = 21$ gün
- **Senaryo 2 (İthal, stoksuz)**
 - Birim maliyet (COGS): 53.490 USD
 - Üretim süresi: 30 gün
 - Günlük COGS = $53.490 / 31 = 1.783,00$ USD/gün
 - Ortalama stok ≈ 53.490 USD
 - DIO = $53.490 / 1.783,00 = 30$ gün
- **Senaryo 3 (Yerli/Yerli Tedarikçi, stoklu)**
 - Birim maliyet (COGS): 63.766 USD
 - Üretim süresi: 17 gün
 - Günlük COGS = $63.766 / 17 = 3.751,53$ USD/gün
 - Ortalama stok ≈ 63.766 USD
 - DIO = $63.766 / 3.751,53 = 17$ gün
- **Senaryo 4 (İthal, stoklu)**
 - Birim maliyet (COGS): 55.289 USD
 - Üretim süresi: 17 gün
 - Günlük COGS = $55.289 / 17 = 3.252,29$ USD/gün
 - Ortalama stok ≈ 55.289 USD
 - DIO = $55.289 / 3.252,29 = 17$ gün

Sabit konumlu üretim sisteminde stok çevrim süresi 17 ila 31 gün arasında değişmektedir. En uzun çevrim süresi ithal stoksuz senaryoda (S2) gözlemlenmiştir. Bu durumda ithal tedariklerin geç gelmesi, üretim süresini uzatmakta ve stokların yenilenme hızını düşürmektedir. Stoklu senaryolarda (S3 ve S4) çevrim süresi önemli ölçüde kısalmış, özellikle ithal stoklu senaryo (S4) düşük maliyet ve kısa süre avantajını bir arada sunmuştur.

Tablo 16 Senaryolara Göre Stok Çevrim Süresi (DIO)

Yatai Seru ve Sabit Konumlu Üretim Sistemlerinde Stok Çevrim Süresi (DIO) Sonuçları						
Üretim Modeli	Senaryo	Tedarik Modeli	Birim Maliyet (USD)	Üretim Süresi (gün)	Günlük COGS (USD/gün)	DIO (gün)
Yatai Seru	S1	Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoksuz	62.789	18	3.488,28	18
	S2	İthal – Stoksuz	53.490	27	1.981,11	27
	S3	Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoklu	63.508	14	4.536,29	14
	S4	İthal – Stoklu	54.900	14	3.921,43	14
Sabit Konumlu	S1	Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoksuz	62.789	21	2.990,90	21
	S2	İthal – Stoksuz	53.490	30	1.783,00	30
	S3	Yerli/Yerli Tedarikçi – Stoklu	63.766	17	3.751,53	17
	S4	İthal – Stoklu	55.289	17	3.252,29	17

Genel Değerlendirme

Her iki üretim modeli karşılaştırıldığında, Yatai Seru sisteminde stok çevrim süresi 14–27 gün arasında değişirken, sabit konumlu sistemde bu süre 17–30 gün aralığında gerçekleşmiştir. Bu fark, Seru modelinin akış temelli yapısı sayesinde malzeme yenileme hızının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Stok çevrim süresi bakımından en dezavantajlı seçenek ithal stoksuz senaryo (S2), en avantajlı senaryolar ise stoklu üretim modelleri (S3 ve S4) olmuştur.

4.8.2. Malzeme Çevrim Süresi

Malzeme çevrim süresi (Material Cycle Time – MCT), bir malzemenin tedarik sürecinin başlangıcından itibaren üretim ve montaj aşamalarının tamamlanarak nihai ürünün fabrika çıkışına hazır hale gelmesine kadar geçen toplam süredir. Bu gösterge,

tedarik zincirinin ne kadar verimli çalıştığını ve müşteri siparişinden teslimata kadar geçen süreyi doğrudan yansıtmaktadır. Literatürde MCT şu şekilde ifade edilmektedir:

$$MCT = Tedarik Süresi + \frac{\text{Üretim}}{\text{Montaj Süresi}}$$

Bu çalışmada fabrika çıkışı teslim tanımı esas alınmıştır; müşteri lojistik süresi analiz kapsamı dışında tutulmuştur. Senaryolara göre MRP çıktıları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Senaryo Bazlı Hesaplamalar (Yatai Seru Üretim Modeli)

- **Senaryo 1 (Yerli/Yerli Tedarikçi, stoksuz)**
 - Tedarik süresi: 4 gün (kritik parçaların gelmesi beklenmiştir)
 - Montaj süresi: 14 gün
 - $MCT = 4 + 14 = 18$ gün
- **Senaryo 2 (İthal, stoksuz)**
 - Tedarik süresi: 13 gün (ithal parçaların tedarik süresi uzundur)
 - Montaj süresi: 14 gün
 - $MCT = 13 + 14 = 27$ gün
- **Senaryo 3 (Yerli/Yerli Tedarikçi, stoklu)**
 - Tedarik süresi: 0 gün (kritik parçalar stokta hazır)
 - Montaj süresi: 14 gün
 - $MCT = 0 + 14 = 14$ gün
- **Senaryo 4 (İthal, stoklu)**
 - Tedarik süresi: 0 gün (ithal kritik parçalar önceden stoklanmıştır)
 - Montaj süresi: 14 gün
 - $MCT = 0 + 14 = 14$ gün

Senaryo Bazlı Hesaplamalar (Sabit Konumlu Hat Dengeleme Üretim Modeli)

- **Senaryo 1 (Yerli/Yerli Tedarikçi, stoksuz)**
 - Tedarik süresi: 4 gün
 - Montaj süresi: 17 gün
 - $MCT = 4 + 17 = 21$ gün
- **Senaryo 2 (İthal, stoksuz)**

- Tedarik süresi: 13 gün
- Montaj süresi: 17 gün
- $MCT = 13 + 17 = 30$ gün
- **Senaryo 3 (Yerli/Yerli Tedarikçi, stoklu)**
 - Tedarik süresi: 0 gün
 - Montaj süresi: 17 gün
 - $MCT = 0 + 17 = 17$ gün
- **Senaryo 4 (İthal, stoklu)**
 - Tedarik süresi: 0 gün
 - Montaj süresi: 17 gün
 - $MCT = 0 + 17 = 17$ gün

Tablo 17 Senaryolara Göre Malzeme Çevrim Süresi (MCT)

Senaryolara Göre Malzeme Çevrim Süresi (MCT)					
Üretim Modeli	Senaryo	Tedarik Modeli	Tedarik Süresi (gün)	Montaj Süresi (gün)	MCT (gün)
Yatai Seru	S1	Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz	4	14	18
	S2	İthal, Stoksuz	13	14	27
	S3	Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu	0	14	14
	S4	İthal, Stoklu	0	14	14
Sabit Konumlu	S1	Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz	4	17	21
	S2	İthal, Stoksuz	13	17	30
	S3	Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu	0	17	17
	S4	İthal, Stoklu	0	17	17

Değerlendirme

Sonuçlara göre malzeme çevrim süresini en çok uzatan faktör, ithal tedarikteki uzun bekleme süreleridir. Özellikle ithal stoksuz senaryoda (S2), parçaların tedariki 13 gün sürdüğü için toplam çevrim süresi 27 gün (Seru) ve 30 gün (Sabit Konumlu) olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, müşteri teslimatında önemli bir gecikme anlamına gelmektedir. Buna karşılık stoklu senaryolarda (S3 ve S4), kritik parçaların hazır bulundurulması sayesinde tedarik süresi ortadan kalkmış ve çevrim süresi yalnızca montaj süresine eşitlenmiştir (14–17 gün). Bu da teslimatın daha hızlı ve öngörülebilir şekilde yapılmasına olanak tanımaktadır. Yerli stoksuz senaryo (S1) ise 18–21 gün ile orta seviyede bir çevrim süresi ortaya koymuştur. Kritik parçaların tedarik süresi kısa olsa da stoklu senaryolara kıyasla teslimat yine gecikmeli gerçekleşmiştir.

Genel olarak, malzeme çevrim süresi açısından en dezavantajlı senaryo ithal stoksuz (S2) olurken, en avantajlı senaryolar stoklu olan S3 ve S4'tür. Bu durum, stok yönetimi kararlarının teslimat performansı üzerinde doğrudan ve kritik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

4.8.3. Nakit Çevrim Süresi

Nakit çevrim süresi (Cash Conversion Cycle, CCC), işletmenin nakit çıkışları ile nakit girişleri arasındaki net bağlanma gününü gösterir. Pozitif CCC, nakdin belirli gün sayısı kadar işletmede bağlı kaldığını; negatif CCC ise nakdin erken döndüğünü ve işletmenin tedarikçilere ödemediği önce nakit topladığını ifade eder.

Kullanılan formül ve bu çalışmadaki sabitler

$$CCC = DIO + DSO - DPO$$

- DIO (Days Inventory Outstanding) = Stok çevrim süresi
 - Yatai Seru: S1=18 gün, S2=27 gün, S3=14 gün, S4=14 gün
 - Sabit Konumlu: S1=21 gün, S2=30 gün, S3=17 gün, S4=17 gün
- DSO (Days Sales Outstanding) = Tahsilat süresi.
 - Bu çalışmada satış bedelinin %50'si üretime başlamadan önce, kalan %50'si fabrika çıkışı öncesinde tahsil edildiğinden ürün fabrikadan çıkmadan tahsilat tamamdır → DSO = 0 gün.

- DPO (Days Payables Outstanding) = Tedarikçilere ödeme süresi.
- Yerli/Yerli tedarikçi: 15 gün, İthal: 0 gün (peşin).

Satış ve maliyet bilgisi:

Satış fiyatı: 100.000 USD (50.000 USD sipariş teyidinde, 50.000 USD fabrika çıkışı öncesi)

Senaryo bazlı birim maliyetler (COGS):

- Yatai Seru → S1=62.789, S2=53.490, S3=63.508, S4=54.900 (USD)
- Sabit Konumlu → S1=62.789, S2=53.490, S3=63.766, S4=55.289 (USD)

Senaryo bazlı adım adım CCC hesapları (Yatai Seru)

- **Senaryo 1 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz**
 - Girdiler: DIO=18, DSO=0, DPO=15
 - Hesap: CCC = 18 + 0 – 15 = 3 gün
- **Senaryo 2 – İthal, Stoksuz**
 - Girdiler: DIO=27, DSO=0, DPO=0
 - Hesap: CCC = 27 + 0 – 0 = 27 gün
- **Senaryo 3 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu**
 - Girdiler: DIO=14, DSO=0, DPO=15
 - Hesap: CCC = 14 + 0 – 15 = -1 gün
- **Senaryo 4 – İthal, Stoklu**
 - Girdiler: DIO=14, DSO=0, DPO=0
 - Hesap: CCC = 14 + 0 – 0 = 14 gün

Senaryo bazlı adım adım CCC hesapları (Sabit Konumlu)

- **Senaryo 1 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz**
 - Girdiler: DIO=21, DSO=0, DPO=15
 - Hesap: CCC = 21 + 0 – 15 = 6 gün
- **Senaryo 2 – İthal, Stoksuz**
 - Girdiler: DIO=30, DSO=0, DPO=0
 - Hesap: CCC = 30 + 0 – 0 = 30 gün
- **Senaryo 3 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu**

- Girdiler: DIO=17, DSO=0, DPO=15
- Hesap: CCC = 17 + 0 – 15 = 2 gün
- Senaryo 4 – İthal, Stoklu
 - Girdiler: DIO=17, DSO=0, DPO=0
 - Hesap: CCC = 17 + 0 – 0 = 17 gün

Çalışma sermayesi ihtiyacı (USD)

CCC pozitif ise, bağlanan gün sayısı günlük COGS ile çarpılarak yaklaşık çalışma sermayesi ihtiyacı (nakit açığı) bulunur.

Önce günlük COGS hesaplanır:

Tablo 18 Nakit Çevrim Süresi

Model	Senaryo	COGS (USD)	DIO (gün)	Günlük COGS (USD/gün)
Yatai Seru	S1	62.789	18	3.488,28
	S2	53.490	27	1.981,11
	S3	63.508	14	4.536,29
	S4	54.900	14	3.921,43
Sabit Konumlu	S1	62.789	21	2.990,90
	S2	53.490	30	1.783,00
	S3	63.766	17	3.751,53
	S4	55.289	17	3.252,29

Ardından çalışma sermayesi ihtiyacı $\approx \max(\text{CCC}, 0) \times \text{Günlük COGS}$:

Tablo 19 Çalışma Sermayesi İhtiyacı

Model	Senaryo	CCC (gün)	Günlük COGS (USD/gün)	Çalışma Sermayesi İhtiyacı (USD)
Yatai Seru	S1	3	3.488,28	10.464,84
	S2	27	1.981,11	53.489,97
	S3	-1	4.536,29	0 (~4.536,29 nakit fazlası)
	S4	14	3.921,43	54.900,02
Sabit Konumlu	S1	6	2.990,90	17.945,40

	S2	30	1.783,00	53.490,00
	S3	2	3.751,53	7.503,06
	S4	17	3.252,29	55.289,00

Tablo 20 MRP Senaryolarına Göre Üretim Süreleri, Gecikme Günleri ve Teslim Tarihleri Karşılaştırılması

Model	Senaryo	Tedarik Tipi	DIO (gün)	DSO (gün)	DPO (gün)	CCC (gün)	Günlük COGS (USD/gün)	Çalışma Sermayesi İhtiyacı (USD)
Yatai Seru	S1	Yerli / Stoksuz	18	0	15	3	3.488,28	10.464,84
	S2	İthal / Stoksuz	27	0	0	27	1.981,11	53.489,97
	S3	Yerli / Stoklu	14	0	15	-1	4.536,29	0 (~4.536,29 nakit fazlası)
	S4	İthal / Stoklu	14	0	0	14	3.921,43	54.900,02
Sabit Konumlu	S1	Yerli / Stoksuz	21	0	15	6	2.990,90	17.945,40
	S2	İthal / Stoksuz	30	0	0	30	1.783,00	53.490,00
	S3	Yerli / Stoklu	17	0	15	2	3.751,53	7.503,06
	S4	İthal / Stoklu	17	0	0	17	3.252,29	55.289,00

Yorum ve Çıkarımlar

Nakit Bağlanması (CCC):

- En olumsuz: S2 (27 gün – Yatai Seru / 30 gün – Sabit Konumlu) → İthal stoksuz senaryoda peşin ödeme ve uzun DIO birleşince nakit yaklaşık bir aya yakın süreyle işletmede bağlı kalır. Bu durum, finansman ihtiyacını en yüksek düzeye çıkaran stratejidir.
- İkinci olumsuz: S4 (14 gün – Yatai Seru / 17 gün – Sabit Konumlu) → Stoklu ithal senaryosu üretim ve teslimat hızını artırsa da, ithal parçalar için peşin ödeme zorunluluğu nedeniyle nakit akışı yine pozitif kalmakta, işletme sermayesi üzerindeki baskı tamamen ortadan kalkmamaktadır.
- Yerli senaryolar: S1 (3 gün – Yatai / 6 gün – Sabit) sınırlı düzeyde nakit bağlar; S3 (-1 – Yatai / +2 – Sabit) ise negatif veya nötr CCC değeriyle nakit açısından en

avantajlı senaryolardır. Özellikle Yatai Seru üretim modelinde negatif CCC oluşması, tedarikçilere ödeme yapılmadan önce nakit tahsilatının tamamlanabildiğini göstermektedir.

Çalışma Sermayesi İhtiyacı (USD):

- İthal modeller (S2, S4): Nakit bağlanması $\approx$ COGS düzeyinde (~55.000 USD) gerçekleşmektedir. Bu durum, ithalat kaynaklı peşin ödemelerin finansman yükünü artırmaktadır.
- Yerli modeller (S1, S3): Bağlanan nakit tutarı 10.000–18.000 USD aralığına düşmekte, özellikle Yerli–Stoklu (S3) senaryosunda negatif CCC sonucu ~4.500 USD düzeyinde erken nakit fazlası oluşmaktadır.

Politika Etkisi:

- DPO (vade) CCC üzerinde en güçlü kaldıraçtır. Yerli tedarikte vadenin 15 günden 30 güne çıkarılması, S1 ve S3 senaryolarında CCC'yi sırasıyla –12 ve –16 güne kadar düşürebilmektedir.
- DIO (MCT) süresi kısaldıkça CCC de azalır; dolayısıyla stoklu stratejiler (S3–S4) zamanlama açısından avantajlıdır. Ancak ithal senaryolarda DPO'nun 0 olması, bu iyileştirici etkinin finansal yansımalarını sınırlandırmaktadır.

Stratejik Yorum:

- Nakit akışı öncelikli işletmeler için en uygun senaryo S3 (Yerli–Stoklu) olup, negatif veya sıfıra yakın CCC değeriyle finansman ihtiyacını minimize eder.
- Kârlılık ve teslim dengesi arandığında, S4 (İthal–Stoklu) daha dengeli bir çözümdür; ancak ithal tedarikçilerle vadeli ödeme koşulları sağlanabilirse CCC hızla iyileştirilebilir.
- S2 (İthal–Stoksuz) senaryosu, uzun DIO ve peşin ödeme nedeniyle en yüksek finansman yükü oluşturmaktadır; bu durumda güçlü nakit rezervi veya dış finansman desteği (örneğin kısa vadeli işletme kredileri) gereklidir.

5. BULGULAR

Uygulanan analiz yöntemleri sonucunda elde edilen veriler, üretim sisteminin performansını çok boyutlu olarak ortaya koymuştur. Sabit Konumlu Hat Dengeleme ve Yatai Seru üretim modelleri, süre, iş gücü verimliliği ve çıktı hızı açısından karşılaştırılmış; MRP senaryoları üzerinden tedarik politikalarının maliyet, stok ve teslim süresi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca üretim sisteminin finansal döngü göstergeleri olan stok çevrim süresi (DIO), malzeme çevrim süresi (MCT) ve nakit çevrim süresi (CCC) analiz edilerek, operasyonel verimlilik ile finansal sürdürülebilirlik arasındaki ilişki açıklanmıştır.

5.1. Sabit Konumlu Hat Dengeleme – Yatai Seru Karşılaştırması

Üretim sürecinin farklı yöntemlerle modellenmesi sonucunda elde edilen bulgular, üç yaklaşımın avantaj ve sınırlılıklarını ortaya koymaktadır:

- CPM Analizi: Kritik Yol Yöntemi ile gerçekleştirilen analizde Afara Tarım Robotunun üretim süresi 101 saat olarak hesaplanmıştır. Bu yöntem, faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerini dikkate alarak kritik adımları tanımlamış, montaj sürecinde hangi işlerin sürecin tamamını doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur. Böylece proje yönetimi açısından darboğazlar netleşmiş ve zaman planlaması için güvenilir bir temel sağlanmıştır.
- Sabit Konumlu Hat Dengeleme (tek robot): Mekanik ve elektrik teknisyenleri arasında iş bölümü yapılmış, tek bir robotun üretimi 92 saatte tamamlanmıştır. Toplam emek girdisi 113 adam-saat, toplam atıl süre ise 71 saat olarak kaydedilmiştir. Çevrim süresi bu senaryoda 92 saattir. Bu yaklaşım ilk ürün için hızlı teslimat sağlamasına rağmen, yüksek düzeyde atıl iş gücü nedeniyle uzun vadeli verimlilik sınırlı kalmaktadır.
- Sabit Konumlu Hat Dengeleme (eşzamanlı iki robot): Atıl sürelerin değerlendirilmesiyle ikinci robot üretimi eş zamanlı olarak başlatılmış, birinci robot 112. saatte, ikinci robot ise 136. saatte tamamlanmıştır. Toplam emek girdisi 226 adam-saat, atıl süre ise 46 saat olarak gerçekleşmiştir. Bu senaryoda çevrim süresi 24 saat olup, üretim ritmi tek robot senaryosuna kıyasla daha yüksek bir performans sergilemiştir.
- Yatai Seru Yaklaşımı: İki nitelikli personelin iki ayrı hücrede paralel çalıştığı düzende her bir hücrenin üretim süresi 113 saattir. Sistem bazında ise iki ürün aynı sürede tamamlandığından çevrim süresi ortalama 56,5 saat olarak hesaplanmıştır.

Bu yaklaşımda atıl süre tamamen ortadan kalkmış, iş gücü tam kapasite kullanılmış ve çıktı hızı 0,017 robot/saat düzeyine ulaşmıştır.

Karşılaştırmalı Değerlendirme:

- İlk ürün çıkış süresi bakımından sabit konumlu tek robot düzeni avantajlıdır (92 saat ↔ 113 saat).
- Çevrim süresi açısından en kısa değer sabit konumlu eşzamanlı üretimde elde edilmiştir (24 saat), ancak bu senaryoda hâlâ belirli ölçüde atıl süre bulunmaktadır.
- İş gücü verimliliği bakımından Yatai Seru açık bir üstünlük sağlamış, atıl süreleri ortadan kaldırarak sürdürülebilir bir üretim akışı oluşturmuştur.
- Çıktı hızı karşılaştırmasında ise Yatai Seru en yüksek değere ulaşmıştır (0,017 ↔ 0,015 ↔ 0,011 robot/saat).

Afara Tarım Robotunun üretiminde sabit konumlu montaj yaklaşımı ilk ürün teslim süresi açısından avantajlı görünmekte, Yatai Seru ise iş gücü verimliliği, çevrim sürelerinin dengelenmesi ve çıktı hızının artırılması bakımından daha etkin bir alternatif sunmaktadır. CPM analizi, her iki sistemin de güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyarak yönetsel kararların verilmesinde yol gösterici olmuştur.

5.2. MRP Senaryo Sonuçları

Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) kapsamında oluşturulan dört farklı tedarik senaryosu hem Sabit Konumlu Hat Dengeleme hem de Yatai Seru üretim modelleri için uygulanmıştır. Her iki sistemde de aynı ürün ağacı ve malzeme listesi kullanılmış; fark yalnızca üretim süreleri, iş gücü organizasyonu ve çevrim sürelerinden kaynaklanmıştır.

Senaryo 1 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoksuz

- **Sabit Konumlu Hat Dengeleme:**
 - Yerli bileşenlerin temin süresi 4–10 gün arasında değişmiş, güvenlik stoğu bulunmadığından üretim 5. günde başlayabilmiştir. Montaj süresi 17 gün olup toplam teslim süresi 22 gün olarak gerçekleşmiştir. Üretim süreci planlanan zamanın ötesine taşmamakla birlikte, tedarik gecikmelerine karşı yüksek hassasiyet göstermektedir.
- **Yatai Seru:**
 - Aynı koşullar altında üretim süresi 19 gün olarak ölçülmüştür. Çok becerili iş gücü yapısı sayesinde montaj aşamasında kesinti yaşanmamıştır. Toplam

çevrim süresi 19 gün olup, sabit konumlu sisteme göre %13 oranında daha kısa gerçekleşmiştir.

Senaryo 2 – İthal, Stoksuz

- **Sabit Konumlu Hat Dengeleme:**

- Kritik ithal parçalar (motorlar, kontrol üniteleri, sensörler) için 15 günlük tedarik süresi öngörülmüş, montaj 14. günde başlayabilmiştir. Üretim süresi 17 gün, toplam teslim süresi ise 31 gündür. Peşin ödeme koşulu nedeniyle finansman yükü artmış, teslim güvenilirliği düşmüştür.

- **Yatai Seru:**

- Aynı koşullarda üretim süresi 28 gün olarak gerçekleşmiştir. Gecikmenin nedeni, ithal bileşenlerin tedarik süresi boyunca üretimin bekleme konumunda kalmasıdır. Bu senaryo, üretim güvenilirliği açısından en zayıf sonucu vermiştir.

Senaryo 3 – Yerli/Yerli Tedarikçi, Stoklu

- **Sabit Konumlu Hat Dengeleme:**

- Kritik bileşenlerin önceden stoklanmasıyla üretim gecikmesiz başlamış, montaj süresi 17 gün olarak tamamlanmıştır. Toplam teslim süresi 17 gündür. Bu senaryoda teslim güvenilirliği artmış, tedarik riski tamamen ortadan kalkmıştır.

- **Yatai Seru:**

- Aynı senaryoda üretim süresi 14 gündür. Montaj faaliyetleri kesintisiz yürütülmüş, stoklu çalışmanın avantajı sayesinde çevrim süresi en düşük seviyeye inmiştir. Bu senaryo, maliyet açısından sınırlı bir artışa karşın en yüksek operasyonel güvenilirliği sağlamıştır.

Senaryo 4 – İthal, Stoklu

- **Sabit Konumlu Hat Dengeleme:**

- İthal kalemler önceden stoklanmış, montaj süreci gecikmesiz başlamıştır. Üretim süresi 17 gün olup, tedarik kaynaklı hiçbir bekleme yaşanmamıştır. Ancak peşin ödemeler nedeniyle finansal risk artmıştır.

- **Yatai Seru:**

- Aynı koşullarda üretim süresi 14 gündür. Stoklu çalışma ve çok becerili personel yapısı sayesinde üretim akışı kesintisiz yürümüştür. Bu senaryo hem zaman hem de operasyonel performans açısından en dengeli sonuçları sunmuştur.

Tablo 21 Sabit Konumlu Hat Dengeleme ve Yatai Seru Üretim Sistemleri Performans Karşılaştırması

Senaryo	Tedarik Modeli	Stok Durumu	Yatai Seru (gün)	Sabit Konumlu (gün)	Fark (gün)
S1	Yerli	Stoksuz	19	22	-3
S2	İthal	Stoksuz	28	31	-3
S3	Yerli	Stoklu	14	17	-3
S4	İthal	Stoklu	14	17	-3

Genel Değerlendirme

- **Teslim Süresi:** Yatai Seru modeli, sabit konumlu sisteme göre her senaryoda ortalama 3 gün daha kısa teslim süresi sağlamıştır.
- **Finansal Risk:** İthal senaryolarda (S2 ve S4), özellikle peşin ödeme koşulları nedeniyle nakit bağlama maliyeti yükselmiştir.
- **Üretim Güvenilirliği:** Yerli–stoklu senaryo (S3), her iki sistemde de en güvenilir sonucu vermiştir.
- **Operasyonel Verimlilik:** Seru modeli, stok politikası fark etmeksizin daha kısa çevrim süresi ve daha dengeli iş gücü kullanımıyla üstün performans göstermiştir.

Sonuç olarak, MRP analizleri Yatai Seru sisteminin üretim esnekliği, teslim süresi ve operasyonel süreklilik açısından sabit konumlu hat dengeleme yöntemine kıyasla daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Ancak ithal tedariklerde finansal riskin azaltılması için stok politikalarının dikkatle planlanması gerekmektedir.

5.3. Maliyet Bulguları

Bu bölümde tanımlanan dört Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) senaryosunun, iki farklı üretim sistemi (Yatai Seru ve Sabit Konumlu Hat Dengeleme) altındaki finansal sonuçlarını sunmaktadır. Bulgular, birim maliyet, elde tutma ve sipariş maliyeti yapıları ile

nakit çevrim süresi gibi kritik finansal performans göstergeleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Senaryo Bazlı Birim Maliyet (COGS) Karşılaştırması

- Robotun üretimi için geliştirilen dört tedarik senaryosuna ait birim maliyetler (COGS), hem Yatai Seru hem de Sabit Konumlu Hat Dengeleme sistemleri için hesaplanmıştır. Maliyet bulgularına göre elde edilen temel sonuçlar aşağıda sunulmuştur: İthalatın Maliyet Avantajı: Envanter maliyetleri dahil edilmeden yapılan ilk karşılaştırmada, ithal tedarik stratejisini kullanan Senaryo 2 ve Senaryo 4'ün, yerli tedarik stratejisine (Senaryo 1 ve Senaryo 3) göre ortalama %15-%20 oranında daha düşük birim maliyeti sunduğu tespit edilmiştir. İthalatın düşük satın alma fiyatı, toplam birim maliyeti düşüren temel faktör olmuştur.
- Stok Politikasının Etkisi: Stok tutma politikasının uygulandığı senaryolarda (S3 ve S4), stoklu senaryolara (S1 ve S2) kıyasla birim maliyetin arttığı görülmektedir. Bu artış, kullanılan Envanter Taşıma Maliyeti (H) hesaplamasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, Yatai Seru modeli için S1'de 62.789 USD olan birim maliyet, S3'te 63.508 USD'ye yükselmiştir.
- Üretim Sistemi Farkının Maliyete Etkisi: Üretim sistemi tercihi, stoklu senaryolarda (S1 ve S2) birim maliyet üzerinde herhangi bir etki yaratmazken, stoklu senaryolarda (S3 ve S4) Sabit Konumlu Hat Dengeleme sistemi, Yatai Seru sistemine göre marjinal olarak daha yüksek birim maliyetine sahiptir. Bu fark, Sabit Konumlu sistemin üretim döngüsündeki atıl süreler nedeniyle envanterin tesiste kalış süresinin (DIO) bir miktar daha uzun olmasından kaynaklanmaktadır.

Elde Tutma ve Sipariş Maliyetlerinin Tedarik Stratejilerine Göre Analizi

Stoklu senaryolar için detaylı olarak incelenen elde tutma ve sipariş maliyetleri, tedarikçi menşeinin ve ödeme koşullarının finansal risk ve maliyet yapısı üzerindeki kritik rolünü ortaya koymuştur:

- Sipariş Maliyetlerindeki Farklılıklar: İthal tedarik stratejisi (S4), gümrük vergileri, gümrük müşavirliği ücretleri ve yüksek idari giderler nedeniyle yerli tedarik stratejisine (S3) göre önemli ölçüde daha yüksek sipariş maliyetine sahiptir. Örneğin, kritik bir malzeme olan Tahrik Motoru için ithal sipariş maliyeti 597 USD olarak hesaplanırken, yerli sipariş maliyeti 201 USD seviyesinde kalmıştır.

- Elde Tutma Maliyetlerinde Finansman Yüğü: Elde tutma maliyeti (Holding Cost), yalnızca fiziksel depolama giderlerini değil, aynı zamanda malzemeye bağlanan nakdin alternatif maliyetini de içerir. İthalat (S4), peşin ödeme koşulu (DPO=0 gün) nedeniyle, stokta tutulan malzemenin finansman yükünü anında ve tam olarak işletmeye yüklemektedir. Yerli tedarikte (S3) ise tedarikçi vade süresinin (DPO=15 gün) olması, finansman yükünü 15 gün erteleyerek maliyeti düşürmektedir.

Finansal Çevrim Süreleri (DIO, MCT, CCC) Bulguları

Çalışmanın temel finansal göstergeleri olan Envanter Günleri (DIO), Malzeme Çevrim Süresi (MCT) ve Nakit Çevrim Süresi (CCC) sonuçları, farklı sistem ve senaryoların çalışma sermayesi ihtiyacına etkilerini açıkça göstermektedir.

- En Avantajlı Senaryo (Negatif CCC): Finansal sürdürülebilirlik açısından en olumlu sonuç, Yatai Seru Üretim Modeli altında uygulanan Yerli–Stoklu Stratejisi (Senaryo 3) ile elde edilmiştir. Bu senaryoda CCC değeri –1 gün olarak hesaplanmıştır. Negatif CCC değeri, işletmenin malzemenin bedelini tedarikçiye ödmeden önce (15 gün DPO) ürünü teslim edip tahsilata başlaması olasılığını yaratarak, üretim için dış finansman ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.
- En Riskli Senaryo (Uzun CCC): En yüksek finansman yükü ve çalışma sermayesi ihtiyacı, Sabit Konumlu Hat Dengeleme Modeli altında uygulanan İthal–Stoksuz Stratejisi (Senaryo 2) ile ortaya çıkmıştır. Bu senaryoda CCC değeri 30 gün olup, envanterin peşin ödenmesi ve uzun tedarik-üretim süreleri nedeniyle nakit, en uzun süre boyunca işletmeye bağlı kalmaktadır.
- Yatai Seru'nun Etkisi: Yatai Seru sistemi, her senaryoda Sabit Konumlu Hat Dengeleme sistemine kıyasla ortalama 3 gün daha kısa DIO ve MCT süreleri sunmuştur. Bu operasyonel verimlilik, CCC değerini doğrudan düşürerek (Örn: S3'te 2 gün yerine –1 gün) finansal performansa pozitif katkı sağlamıştır. Bu durum, Yatai Seru modelinin sadece operasyonel değil, aynı zamanda finansal esneklik sağladığını göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda üretim sistemlerinin yapısal farkları, verimlilik düzeyleri ve finansal etkileri bütüncül biçimde değerlendirilmiştir. Sabit Konumlu Hat Dengeleme ve Yatai Seru üretim modelleri üzerinden yapılan analizler, üretim sürecinin hem operasyonel hem de finansal açıdan iyileştirilebileceğini göstermektedir. Bu bölümde, yapılan analizlerden elde edilen temel sonuçlar özetlenmiş ve uygulamaya yönelik öneriler geliştirilmiştir. Ayrıca araştırmanın gelecekteki çalışmalara sağlayabileceği katkılar ve olası geliştirme alanları tartışılmıştır.

6.1. Sonuç

Bu yüksek lisans tezi, Afara Tarım Robotu üretimine ilişkin yürütülen analitik bir vaka çalışmasıdır. Çalışmanın temel amacı, Yatai Seru ve Sabit Konumlu Hat Dengeleme gibi farklı üretim sistemlerinin stok politikaları ve tedarik stratejileri bağlamında, işletmenin finansal sürdürülebilirliği üzerindeki bütüncül etkilerini değerlendirmektir. Elde edilen bulgular, operasyonel verimlilik, maliyet yapısı ve Nakit Çevrim Süresi (CCC) metrikleri arasındaki doğrudan etkileşimi kanıtlamıştır.

Üretim Sistemi Tercihinin Operasyonel Etkinliğe Etkileri

Operasyonel performansın analizi, üretim sistemi seçiminin iş gücü ve süreç akışı üzerindeki kritik rolünü netleştirmiştir:

- **İş Gücü Verimliliği ve Atıl Sürenin Eliminasyonu:** Sabit Konumlu Hat Dengeleme modelinde, görev bağımlılıkları ve uzmanlık ayrımı nedeniyle atıl süreler oluşmuştur. Buna karşın, Yatai Seru yaklaşımı, nitelikli personelin montaj faaliyetlerini uçtan uca yürütmesi sayesinde atıl süreyi tamamen ortadan kaldırmış ve iş gücü kullanım oranını maksimize etmiştir. Bu durum, Yatai Seru modelinin uzun dönemli sürdürülebilir üretim stratejileri için daha uygun olduğunu göstermektedir.
- **Çevrim Süreleri (MCT) ve Çıktı Hızı:** Yatai Seru sistemi, Sabit Konumlu Hat Dengeleme sistemine göre her senaryoda Malzeme Çevrim Süresini (MCT) ortalama 3 gün daha kısa tutmuş ve Sabit Konumlu eşzamanlı üretime göre dahi daha yüksek bir çıktı hızına (0,017 robot/saat) ulaşmıştır. Bu operasyonel hız, yalın üretim felsefesinin (Seru sistemi) akış etkinliğini sağladığını ve finansal göstergeleri pozitif yönde desteklediğini kanıtlamaktadır.

- İlk Ürün Teslim Hızı: Sabit Konumlu Hat Dengeleme sistemi, tek robot üretiminde 92 saat ile Yatai Seru'ya (113 saat) göre daha hızlı ilk ürün teslim süresi sunmuştur. Ancak bu avantaj, düşük kapasite kullanımı ve yüksek atıl süre maliyetiyle dengelenmektedir.

Tedarik Stratejisi ve Stok Politikasının Finansal Sürdürülebilirlik Üzerindeki Etkileri

Çalışmanın ana odağını oluşturan tedarik stratejileri, zaman, maliyet ve nakit akışı metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir:

- Optimal Finansal Çözüm (Senaryo 3): Finansal sürdürülebilirlik açısından en dengeli ve ideal strateji, Yerli–Stoklu Stratejisi (Senaryo 3) olarak belirlenmiştir. Bu stratejinin Yatai Seru modeli ile entegrasyonu, negatif Nakit Çevrim Süresi (CCC = –1 gün) sonucunu doğurmuştur. Negatif CCC, yerli tedarikçilerin sunduğu vadeli ödeme koşulları (DPO=15 gün) sayesinde işletmenin borç ödeme süresini, stokta kalma süresinden (DIO=14 gün) daha uzun tutarak, dış finansman ihtiyacını minimize ettiğini göstermektedir.
- İthalatın Finansman Yükü: İthal tedarik senaryoları (S2 ve S4), yerli senaryolara göre ortalama %15–%20 daha düşük birim maliyeti sunmasına rağmen, ithalatın getirdiği peşin ödeme zorunluluğu (DPO = 0 gün) nedeniyle yüksek bir finansman yükü oluşturmuştur. Özellikle İthal–Stoksuz stratejisi (S2), CCC=27 gün ile en yüksek çalışma sermayesi riskini taşımaktadır.
- Maliyet Yapısı ve Sipariş Giderleri: İthalat, düşük birim malzeme maliyeti avantajı sunsa da, ithal siparişlerde gümrük, nakliye ve işlem yükleri nedeniyle sipariş maliyetlerinin yerli siparişlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Stoklu stratejiler (S3 ve S4) ise, stok maliyetini artırarak maliyet yapısını kısmen yükseltmiş ancak operasyonel gecikme riskini tamamen ortadan kaldırmıştır.

Sonuç itibarıyla, bu çalışma, üretim sistemi tercihi ile tedarik zinciri stratejilerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini kanıtlamaktadır. Afara Tarım Robotu örneği, Yatai Seru üretim sistemi üzerine kurulan Yerli–Stoklu stratejisinin (S3), maliyet, zaman ve nakit yönetimi metriklerini birlikte optimize ederek, finansal sürdürülebilirlik odaklı büyüme için en etkin ve güvenilir yolu sunduğunu göstermektedir.

6.2. Öneriler

Tez bulguları ve literatürdeki ilgili çalışmalara dayanarak, Afara Tarım Teknolojileri A.Ş. yönetimine, akademik alana ve gelecekteki araştırmalara yönelik detaylı öneriler aşağıda sunulmuştur.

İşletme Yönetimine Yönelik Stratejik Öneriler

1. Yatai Seru Modelinin Seri Üretime Adaptasyonu: İşletmenin, uzun vadeli sürdürülebilirlik ve çıktı hızı avantajları nedeniyle Yatai Seru sistemine tam geçiş yapması önerilmektedir. Bu geçiş süreci, montaj ekibinin mekanik, elektronik ve yazılım bileşenleri konusunda çoklu beceri eğitimleri almasıyla desteklenmeli ve organizasyonel öğrenme kültürü teşvik edilmelidir.
2. DPO'yu Maksimize Etme Hedefi: Finansal çevikliği korumak amacıyla, Yerli–Stoklu Stratejisi (S3) ana politika olarak benimsenmelidir. Negatif CCC'nin sürekliliğini sağlamak için yerel tedarikçilerle mevcut 15 günlük ödeme vadesi (DPO) korunmalı ve müzakerelerle 30 güne kadar çıkarılması hedeflenmelidir. Bu iyileştirme, CCC'yi -16 güne kadar düşürme potansiyeline sahiptir.
3. Hibrid Tedarik Yönetimi: İthalatın getirdiği maliyet avantajından faydalanmak istendiğinde, ithal kalemler için sadece Stoklu (S4) stratejisi uygulanmalıdır. Ancak bu stratejinin finansman yükünü hafifletmek amacıyla, ithalat finansmanı için akreditifli vadeli ödeme (DPO'yu artırıcı) koşulları için finansal kurumlarla iş birliği yapılmalıdır.
4. MRP ve Güvenlik Stoğu Politikası: MRP çıktılarında belirlenen, kritik ve uzun tedarik süresine sahip tüm kalemlerde (özellikle ithal olanlarda) asgari güvenlik stoğu bulundurma zorunluluğu getirilmelidir. Stoksuz (S1 ve S2) politikalar ise sadece kısa tedarik süresine sahip, maliyeti düşük ve üretim akışını engellemeyen ikincil kalemler için kullanılmalıdır.

Akademik Çalışmalara Yönelik Öneriler

1. Stokastik Modelleme ve Risk Analizi: Bu çalışmanın deterministik yaklaşımının ötesine geçilerek, Tedarik Süresi Belirsizliği ve Döviz Kuru Dalgalanmaları gibi finansal risk faktörlerini içeren stokastik simülasyon modelleri kullanılmalıdır. Monte Carlo analizleri ile her senaryonun CCC üzerindeki finansal risk ve varyansının hesaplanması, karar vericiler için daha sağlam bir zemin hazırlayacaktır.

2. KKA ile Entegre Karar Modeli: Tedarik stratejisi seçiminde, maliyet (COGS) ve zaman (MCT) gibi nicel metriklerin yanı sıra, tedarikçi güvenilirliği, kalite ve yerel ekonomiye katkı gibi nitel faktörleri de içeren Analitik Hiyerarėi Süreci (AHP) veya TOPSIS gibi çok Kriterli Karar Analizi (KKA) yöntemleri kullanılarak bir karar destek modeli geliğtirilebilir.
3. DDMRP Yaklağımının Etkisi: Yalın ve esnek üretim sistemlerine (Yatai Seru) daha uygun olduğu dğnlen Talep Odaklı Malzeme İhtiyaç Planlaması (DDMRP) yaklağımlarının, klasik MRP'ye göre CCC zerindeki iyileğtirici etkisinin kantitatif olarak incelenmesi önerilir.
4. alığma Sermayesi ve Büyüme İliğisinin Sektörel Analizi: Elde edilen CCC değerlerinin, benzer teknoloji firmalarının finansal verileri kullanılarak iğletme kârlılığı ve büyüme hızı üzerindeki nedensel iliğkilerinin, regresyon modelleriyle test edilmesi alını yazına önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu analiz, CCC'nin operasyonel etkinlikten finansal performansa uzanan entegre bir gösterge olma özelliğini pekiğtirecektir.

7. REFERANSLAR

- Christopher, M. (2016). *Logistics and Supply Chain Management* (5th ed.). Harlow, UK: Pearson Education.
- Lamberson, M. (1995). Changes in working capital of small firms in relation to changes in economic activity. *American Journal of Business*, 10(2), 45–50.
- Richards, V. D., & Laughlin, E. J. (1980). A cash conversion cycle approach to liquidity analysis. *Financial Management*, 9(1), 32–38. <https://doi.org/10.2307/3665310>
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2016). *Operations Management* (8th ed.). Harlow, UK: Pearson Education.
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Jacobs, F. R. (2005). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Brigham, E. F., & Ehrhardt, M. C. (2013). *Financial Management: Theory and Practice* (14th ed.). Mason, OH: South-Western Cengage Learning.
- Ptak, C. A., & Smith, C. D. (2011). *Orlicky's Material Requirements Planning* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Blackstone, J. H. (2013). *APICS Dictionary* (14th ed.). Chicago: APICS.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2011). *Factory Physics* (3rd ed.). Long Grove, IL: Waveland Press.
- Stevenson, W. J. (2020). *Operations Management* (14th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Deloof, M. (2003). Does working capital management affect profitability of Belgian firms? *Journal of Business Finance & Accounting*, 30(3–4), 573–587.
- Shin, H. H., & Soenen, L. (1998). Efficiency of working capital management and corporate profitability. *Financial Practice and Education*, 8(2), 37–45.
- Acar, M. (2020). *Üretim yönetimi*. Nobel Akademik Yayıncılık.

Groover, M. P. (2016). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing (5th ed.). Pearson.

Kerzner, H. (2017). Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling (12th ed.). Wiley.

Kobu, B. (2017). Üretim yönetimi (17. baskı). Beta Yayınları.

Üreten, S. (2019). Üretim yönetimi: Kavramlar, ilkeler, teknikler (9. baskı). Gazi Kitabevi.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). The machine that changed the world. Simon & Schuster.

Akbulut, M. (2021). Yalın üretim uygulamalarının işletme performansına etkileri: Türk imalat sektörü örneği. Sakarya Üniversitesi Yayınları.

Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and future directions. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(3), 768–803.

Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994–1011.

Liker, J. K. (2004). The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill.

Ohno, T. (1988). Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity Press.

Yalçınkaya, S. (2019). Yalın üretim felsefesi ve uygulama örnekleri. Nobel Akademik Yayıncılık.

Fujimoto, T. (2007). Architecture-based comparative advantage in Japan and Asia. Tokyo: University of Tokyo Press.

Fujimoto, T., & Shimizu, K. (2009). Toyota and Sony: Lessons from Japan's manufacturing success. Oxford University Press.

- Ohno, T. (2018). *Toyota production system: Beyond large-scale production* (Revised ed.). Productivity Press.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (2020). The new manufacturing philosophy: Just-in-time and human-based systems in Japan. *Journal of Production Systems*, 36(4), 211–229.
- Suzaki, K. (2010). *The new shop floor management: Empowering people for continuous improvement*. Free Press.
- Ueda, K., Takenaka, T., & Fujii, N. (2012). Modeling of seru production systems for human-centered manufacturing. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 5(1), 1–9.
- Yamamoto, Y. (2013). *The evolution of cellular manufacturing and seru systems in Japan*. Tokyo Institute of Technology Press.
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 674–693.
- Miltenburg, J. (2001). U-shaped production lines: A review of theory and practice. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 201–217.
- Scholl, A., & Becker, C. (2006). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 666–693.
- Eren, T., & Çakır, E. (2021). Endüstri 4.0 kapsamında üretim sistemlerinde dijital dönüşüm ve hat dengeleme yaklaşımları. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 32(2), 87–102.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (13th ed.). Pearson Education.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962.*
- Fogarty, D. W., Blackstone, J. H., & Hoffmann, T. R. (1991). *Production and inventory management*. South-Western Publishing.

Monk, E., & Wagner, B. (2012). Concepts in enterprise resource planning (4th ed.). Cengage Learning.

Orlicky, J. (1975). Material requirements planning: The new way of life in production and inventory management. McGraw-Hill.

Ptak, C. A., & Smith, C. D. (2016). Demand driven material requirements planning (DDMRP). Industrial Press.

Arnold, J. R. T., Chapman, S. N., & Clive, L. M. (2012). Introduction to materials management (7th ed.). Pearson Education.

Wild, T. (2017). Best practice in inventory management (3rd ed.). Routledge.

Ballou, R. H. (2007). The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*, 19(4), 332–348.

Erkan, T., & Kara, M. (2020). Tedarik zinciri yönetiminde yerli ve ithal girdi kullanımının performans üzerindeki etkisi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 27(1), 245–262.

Kabak, Ö., & Ulengin, F. (2011). Tedarik zinciri stratejilerinin belirlenmesinde çok kriterli karar verme yaklaşımları. *İTÜ Dergisi D: Mühendislik*, 10(5), 43–56.

Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2015). Purchasing and supply chain management (6th ed.). Cengage Learning.

8. EKLER

Şekil 3 Tez - Kurum İşbirliği Beyanı

TEZ – KURUM İŞBİRLİĞİ BEYANI

**İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı'na Sunulmak Üzere Hazırlanmıştır**

Tez Başlığı: Yatai Seru Üretim Sisteminde Stok Politikalarının Büyüme Hızı Odağında Değerlendirilmesi

Tez Sahibi: Maksat Kudratov (Mühendislik Yönetimi Tezli Yüksek Lisans)

Kurumsal İşbirliği:

Bu tez çalışması, Afara Tarım Teknolojileri Anonim Şirketi tarafından geliştirilen “**Afara Tarım Robotu**” adlı tarım robotunun üretim sürecine yönelik olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında, söz konusu robotun üretim aşamasına geçiş sürecinde uygulanabilir üretim sistemlerinin değerlendirilmesi ve en uygun modelin seçimi amaçlanmıştır.

Proje Desteği ve Kapsam:

Tez konusu, Afara Tarım Teknolojileri A.Ş. ile yürütülen Ar-Ge ve ticarileştirme faaliyetlerinin bir parçası olarak değerlendirilmiş; bu kapsamda hazırlanan proje, Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) tarafından yürütülen **Teknoyatırım Destek Programı** kapsamında kabul edilmiştir.

Amaç:

Yapılan bu tez çalışması; akademik araştırmaların sahada uygulanabilirliği açısından önemli bir örnek teşkil etmekte olup, özel sektör ile üniversite işbirliğini destekleyen bir içerikle hazırlanmıştır. Tez sürecinde kurumsal veri ve saha gözlemleri doğrultusunda analizler gerçekleştirilmiş, sonuçlar doğrudan Afara Tarım Robotunun üretim stratejisine katkı sunacak şekilde yapılandırılmıştır.

Kurumsal Onay ve Destek:

Afara Tarım Teknolojileri A.Ş., bu tez çalışmasını desteklemekte ve İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne sunulmak üzere **resmî olarak onayladığını beyan etmektedir.**

Kurum Adı: Afara Tarım Teknolojileri A.Ş.

Yetkili Adı - Soyadı: Ömer Muratlı

Görev / Ünvan: Kurucu / Yönetim Kurulu Başkanı

Tarih: 19 / 09 / 2025

İmza / Kaşe:

**AFARA TARIM TEKNOLOJİLERİ
ANONİM ŞİRKETİ**
Çiğirte Havuzları Mah. E.Ü. Caddesi No: 100
Mik. A1 Blok No: 151/100 Kat: 1 No: B34 Esentepe - İST.
Esneler Vergi Dairesi : 009 179 4733