TALEP ODAKLI MALZEME İHTİYAÇ PLANLAMASI (DDMRP) - TAMPON PARAMETRELERİ İÇİN SINIFLANDIRMA ESASLI BİR YAKLAŞIM

Ahmet BALCIOĞLU
151157202

DOKTORA TEZİ

Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı
Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Doktora Programı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Eylül, 2023

TALEP ODAKLI MALZEME İHTİYAÇ PLANLAMASI (DDMRP) - TAMPON PARAMETRELERİ İÇİN SINIFLANDIRMA ESASLI BİR YAKLAŞIM

Ahmet BALCIOĞLU
151157202
ORCID: 0000-0003-3004-8921

DOKTORA TEZİ

Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı
Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Doktora Programı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Eylül, 2023



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle doktora eğitimi için beni teşvik eden ve eğitimim süresince destekleyen çok değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet Tanyaş'a en derin teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme jürimde yer alan Prof. Dr. Umut Rıfat Tuzkaya ve Doç. Dr. Samet Aydın'a tez sürecindeki katkı ve yönlendirmeleri için çok teşekkür ederim. Tüm hocalarıma özellikle içten ve yapıcı destekleri için bir kez daha şükranlarımı sunarım.

Benim için yorucu olduğu kadar da eğlenceli ve hepsinden önemlisi öğretici bir yolculuk olan bu süreçte, güzel dostlar edindim. Buğra, Tümay ve Seyithan, samimi arkadaşlığınız için sağ olun.

Yaşam gayem olan güzel ailem; öncelikle sizlerden aldığım çokça zaman için özür diliyorum. Her zaman olduğu gibi bu süreçte de yanımda olduğunuz, benden desteğinizi, sabrınızı ve sevginizi esirgemediğiniz için sonsuz teşekkürler.

Değerli eşim Hacer ve canım kızlarım Ecem ile İrem'e sevgilerimle.

Ahmet BALCIOĞLU

Eylül, 2023

ÖZET

TALEP ODAKLI MALZEME İHTİYAÇ PLANLAMASI (DDMRP) - TAMPON PARAMETRELERİ İÇİN SINIFLANDIRMA ESASLI BİR YAKLAŞIM

Ahmet Balcıoğlu
Doktora Tezi
Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı
Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Doktora Programı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet Tanyaş
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2023

Süratle değişen müşteri talep ve beklentileri ile artan ürün çeşitliliği, firmaları çok çeşitli ürün ağaçlarından oluşan karmaşık ve esnek üretim ortamları ile cevap vermeye yöneltmektedir. Günümüz VUCA dünyasının gerektirdiği bu dinamik üretim ortamında firmalar tedarik zincirlerindeki toplam maliyetleri azaltmak için kesintisiz bir baskı altında rekabet etmektedirler. Mevcut planlama ve kontrol sistemlerine kıyasla VUCA dünyasının getirdiği "yeni normal" şartlarda verimli bir şekilde malzeme akışını yönetmeyi hedefleyen DDMRP (Talep Odaklı MRP – Demand Driven Materials Requirement Planning) mevcut üretim planlama ve kontrol yöntemlerine yeni bir yaklaşım olarak eklenmiştir. Malzeme akışında itme ve çekme yaklaşımlarını bir araya getiren DDMRP, ürün ağacı yapısında stratejik olarak konumlandırdığı ve özel olarak boyutlandırdığı tamponları kullanmaktadır. Bu tezde DDMRP tamponlarına ait konum ve boyut parametrelerinin ABC-XYZ sınıflandırma analizleri ile elde edilen malzeme grupları bazında incelenmesi ve sistem performansına etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu maksatla DDMRP metodolojisi kesikli olay simülasyon modeli olarak oluşturulmuş, konum ve tampon parametreleri ile ABC-XYZ sınıflandırmaları deney tasarımı yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Deney tasarımı sonuçları kullanılarak regresyon ağaçları oluşturulmuş ve ABC kategorileri bazında performans göstergelerini belirleyen DDMRP tampon ve parametre yapısı önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Talep Odaklı MRP, Üretim Planlama ve Kontrol, ABC-XYZ Analizi, Simülasyon, Regresyon Ağaçları.

ABSTRACT

DEMAND DRIVEN MATERIAL REQUIREMENT PLANNING – A CLASSIFICATION BASED APPROACH FOR BUFFER PARAMETERS

Ahmet Balcıoğlu
PhD Thesis
Department of International Trade and Logistics Management
Logistics and Supply Chain Management Doctoral Programme
Thesis Advisor: Prof. Dr. Mehmet Tanyaş
Maltepe University Graduate School, 2023

The rapidly changing customer demands and expectations along with the increasing product variety lead companies to respond with complex and flexible production environments consisting of a wide variety of product trees. In this dynamic production environment required by today's VUCA world, companies compete under continuous pressure to reduce the total costs in their supply chains. Compared to existing planning and control systems, DDMRP (Demand Driven Materials Requirement Planning), which aims to manage material flow efficiently under the "new normal" conditions brought by the VUCA world, has been added as a new approach to existing production planning and control methods. Combining push and pull approaches in material flow, DDMRP uses strategically positioned and specially sized buffers in the BOM structure. This thesis aims to examine the positioning and sizing parameters of DDMRP buffers based on material groups obtained by ABC-XYZ classification analysis and to determine their effects on system performance. For this purpose, A discrete event simulation was created to model DDMRP methodology, and buffer positioning and sizing parameters with ABC-XYZ classifications were analyzed with design of experiments approach. By using the experimental design results, regression trees were created to propose DDMRP buffer and parameter structure to determine the performance indicators based on ABC categories.

Keywords: Demand Driven MRP, Production Planning and Control, ABC-XYZ Analysis, Simulation, Regression Trees

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI iii

TEŞEKKÜR iv

ÖZET v

ABSTRACT vi

İÇİNDEKİLER vii

TABLOLAR LİSTESİ xi

ŞEKİLLER LİSTESİ xii

KISALTMALAR xiv

SEMBOLLER xvii

1. GİRİŞ 1

1.1 Problem 2

1.2 Amaç 10

1.3 Önem 11

1.4 Varsayımlar 12

1.5 Sınırlılıklar 12

1.6 Tanımlar 13

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ VE DDMRP ESASLARI 15

2.1 DDMRP Literatür İncelemesi 15

2.1.1 DDMRP performansının değerlendirildiği ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığı çalışmalar 20

2.1.2 DDMRP stok konumlandırma çalışmaları 23

2.1.3 DDMRP parametrelerinin ayarlanması çalışmaları 25

2.1.4 SKU sınıflandırmaları 28

2.1.5 Çalışmanın konumlandırılması ve katkısı 29
2.2 DDMRP - Talep Odaklı Malzeme İhtiyaçları Planlaması (TOMİP) 31
2.2.1 Tanımı ve ortaya çıkışı 31
2.2.2 Stratejik stok konumlandırma 33
2.2.3 Tampon profilleri ve seviyeleri 35
2.2.4 Dinamik ayarlar 40
2.2.5 Talep odaklı planlama 41
2.2.6 Görünür ve işbirlikçi yürütme 43
3. ÜRETİM YÖNETİMİ VE ÜPK SİSTEMLERİ 46
3.1 Üretim Yönetimi ve Planlama Faaliyetleri 46
3.1.1 Üretim yönetimi (Operations management) 46
3.1.2 Planlama seviyeleri 47
3.1.3 Tedarik zinciri ve üretim yönetimi planlama matrisi 48
3.2 Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK) ve Hiyerarşik Faaliyetleri 50
3.2.1 Stratejik iş planı 51
3.2.2 Satış ve üretim planı 52
3.2.3 Ana üretim çizelgesi (AÜÇ) 52
3.2.4 Malzeme gereksinim planlaması (MRP): 54
3.2.5 Satın alma ve üretim kontrol faaliyeti (ÜKF) 55
3.3 ÜPK Sistemlerinde İcra Edilen Ortak Faaliyetler 56
3.4 İtme-Çekme Yaklaşımı ve Üretim Stratejileri 58
3.4.1 Malzeme akışında ayrıştırma noktaları (Decoupling points) 58
3.4.2 Sipariş girim noktası (Müşteri sipariş ayırma noktası) 59
3.4.3 Üretim stratejileri (ortamları) ve sipariş girim noktası ilişkisi 59
3.4.4 Üretim stratejileri ve ana üretim çizelgesi 61
3.5 İtme-Çekme Esaslı Temel Üretim Planlama ve Kontrol Sistemleri 62

3.5.1 İtme esaslı yaklaşım – üretim kaynakları planlaması (MRPII) 63
3.5.2 Çekme esaslı yaklaşım – tam zamanında üretim (JIT) ve kanban 69
3.6 Kısıtların Yönetimi – Kısıtlar Teorisi (TOC) 74
4. METODOLOJİ 80
4.1 Araştırma Modeli 80
4.2 Kesikli Olay Simülasyonu 82
4.3 Deney Tasarımı 84
4.3.1 Deney ve deney tasarımının amaçları 85
4.3.2 Faktöriyel deney tasarımı 86
4.4 ABC-XYZ Analizi ile Malzeme Sınıflandırma 88
4.4.1 ABC analizi 88
4.4.2 XYZ analizi 89
4.5 Araştırmanın Aşamaları 91
4.5.1 Çalışmanın konumu ve araştırma soruları 91
4.5.2 Deney tasarımının ve senaryoların oluşturulması 92
4.5.3 Örnek vakanın tanımlanması 94
4.5.4 Simülasyon modelinin oluşturulması 102
4.5.5 Simülasyon deneyleri ile veri oluşturulması 105
5. DENEYLERİN UYGUNLANMASI VE BULGULAR 108
5.1 Deney Öncesi Simülasyon Verilerinin Hazırlanması ve Girilmesi 108
5.2 Senaryo-1 Çalıştırılması ve ABC Kategorilerinin Atanması 108
5.3 Simülasyon Deneyi (Senaryo-2) ve Sonuçları 109
5.3.1 Genel performans göstergelerinin incelenmesi 111
5.3.2 ABC bazlı performans göstergelerinin incelenmesi 116
5.4 Sonuçların İstatistiksel Analizi 120
5.4.1 Genel performans göstergeleri için MANOVA ve regresyon analizleri 120

5.4.2 ABC bazlı performans göstergeleri için regresyon ağaçları 123
5.5 Bulguların Değerlendirilmesi 126
6. SONUÇ ve ÖNERİLER 128
KAYNAKLAR 135
EKLER 154
EK-1 Örnek Vaka Ürün Ağacı SKU Listesi 154
EK-2 Model Doğrulama ve Geçerleme İşlemleri 158
EK-3 DDMRP Tampon Konumlandırma Optimizasyon Modeli (T-KOM) 163
EK-4 Senaryo-2 Deney Sonuçları 166
EK-5 ABC Kategorileri İçin Performans - Faktör Etkileri Grafikleri 176
EK-6 Genel Performans Göstergeleri için Regresyon Analizleri 182
EK-7 ABC Kategorili Performans Göstergeleri için Regresyon Ağaçları 186
EK-8 DDMRP Simülasyon Modeli Veri Dosyası Yapısı 190
ÖZGEÇMİŞ 191

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Tez Dokümanının Yapısı 10
Tablo 2. Literatür Taraması Yöntem Özeti 15
Tablo 3. DDMRP Literatür Araştırması 16
Tablo 4. Tampon profil faktörleri ve parça özellik parametreleri 36
Tablo 5. DDMRP Tedarik Süresi ve Değişkenlik Faktör Aralıkları 38
Tablo 6. Örnek bir parça için tampon profili ve parça özellikleri 39
Tablo 7. ÜPK seviyeleri ve özellikleri 55
Tablo 8. MRP İşlem Algoritması 67
Tablo 9. Deney Tasarımı Faktör ve Seviyeleri 92
Tablo 10. Oluşturulan Senaryolar ve Genel Özellikleri 94
Tablo 11. Örnek Vaka DDMRP Tampon Profil Özellikleri 97
Tablo 12. Örnek Vaka Talep Verilerinin Oluşturulması 98
Tablo 13. Örnek Vaka İş İstasyonları Parametreleri 99
Tablo 14. Deney Tasarımında Raporlanan Veriler ve Tanım Etiketleri 106
Tablo 15. Senaryo-1 Sonuçlarına Göre ABC Atamaları 108
Tablo 16. Senaryo-2 Deney Tasarımı Sonuçları (Kısmi Örnek) 109
Tablo 17. TopStokMly için MANOVA Özet Tablosu 121
Tablo 18. OrtSKO için MANOVA Özet Tablosu 122
Tablo 19. TopStokMly ve OrtSKO için Regresyon İstatistikleri 123

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. DDMRP Kurulumu Ana Bileşenleri 32
Şekil 2. Ayrıştırılmış tedarik süresi 34
Şekil 3. DDMRP tampon yapısı ve boyutu hesaplama yöntemi 37
Şekil 4. Örnek parça için tampon hesabı 40
Şekil 5. DDMRP Planlama ve Yürütme Görünümü 45
Şekil 6. Süreç bakışıyla üretim 47
Şekil 7. TZ ve Üretim Yönetimi Planlama Matrisi 49
Şekil 8. Tedarik-Üretim-Dağıtım sisteminde akışlar 50
Şekil 9. ÜPK Hiyerarşik Yapısı (Chapman vd., 2017, s. 31) 51
Şekil 10. Talep Değişkenlik Katsayısı ve Planlama İndeksine Göre Üretim Stratejileri 60
Şekil 11. Genel Üretim Stratejileri ve İtme-Çekme İlişkisi 61
Şekil 12. MRPII Genel Çerçevesi 65
Şekil 13. Tek ve Çift Kanban Sistemleri 72
Şekil 14. Örnek DBR Sistemi 77
Şekil 15. Araştırmanın Aşamaları 81
Şekil 16. 2^3 Faktöriyel Tasarım 87
Şekil 17. ABC-XYZ Analizinde Dokuz Stok Gruplaması 90
Şekil 18. Örnek Vaka Ürün Ağacı Yapısı 96
Şekil 19. Örnek Vakada Kullanılan İş İstasyonları 99
Şekil 20. DDMRP Simülasyon Modeli Yapısı 103
Şekil 21. Senaryo-2 (Deney Tasarımı) saçılım diyagramları 110
Şekil 22. TopStokMly ve OrtSKO Üzerinde Genel Faktör Etkileri 112
Şekil 23. TopStokMly Üzerinde 5 Faktörün Etkisi 113
Şekil 24. OrtSKO Üzerinde 5 Faktörün Etkisi 115
Şekil 25. TopStokMly_A ve OrtSKO_A Üzerinde Genel Faktör Etkileri 117
Şekil 26. TopStokMly_A Üzerinde 5 Faktörün Etkisi 119
Şekil 27. OrtSKO_A Üzerinde 5 Faktörün Etkisi 120
Şekil 28. A Kategorisi Ürünlerin Stok Maliyeti için Regresyon Ağacı 124
Şekil 29. A Kategorisi Ürünlerin Sipariş Karşılama Oranı için Regresyon Ağacı 125

Şekil 30. Modelin Karar Destek Sistemi İçerisinde Kullanılması..... 132

KISALTMALAR

ASCM : Tedarik Zinciri Yönetimi Derneği (The Association for Supply Chain Management)

AS : Araştırma Sorusu

ATS : Ayrıştırılmış Tedarik Süresi (Decoupled Lead Time - DLT)

ÇKSS : Çok Kriterli Stok Sınıflandırması

DDMRP : Demand Driven Materials Requirements Planning

DBR : Davul-Tampon-İp (Drum-Buffer-Rope)

DRP : Dağıtım Gereksinimleri Planlamanın (Distribution Requirements Planning)

EKSM : En Küçük Sipariş Miktarı

ERP : Kurumsal Kaynaklar Planlaması (Enterprise Resources Planning)

GA : Genetik Algoritma

JIT : Tam Zamanında Üretim (Just in Time Production)

KBT : Kırmızı Bölge Tepesi (DDMRP tamponu)

KOS : Kesikli Olay Simülasyon (KOS) (Discrete Event Simulation - DES)

MES : Üretim Yürütme Sistemleri (Manufacturing Execution System)

MRP : Malzeme İhtiyaç/Gereksinim Planlaması (Materials Requirements Planning)

MRPII : Üretim Kaynakları Planlaması (Manufacturing Resources Planning)

NAD : Net Akış Denklemi (Net Flow Equation - NFE)

NAP : Net Akış Pozisyonu (Net Flow Position - NFP)

OGK : Ortalama Günlük Kullanım (Average Daily Usage - ADU)

OPT : Optimize Üretim Teknolojisi (Optimized Production Technology)

RCCP : Kaba Kapasite Planlaması (Rough-cut Capacity Planning)

SBT : Sarı Bölge Tepesi (DDMRP tamponu)

SCOR : Tedarik Zinciri Operasyonları Referansı (Supply Chain Operations Reference)

SGN : Sipariş Girim Noktası (Order Penetration Point – OPP), müşteri sipariş ayırma noktası (Customer Order Decoupling Point – CODP) ile eşanlamlı

SKO : Sipariş Karşılama Oranı (Fill Rate - FR)

SKU : Stok Tutma Birimi (Stock Keeping Unit)

SSU : Sipariş Sıçrama Ufku (Order Spike Horizon - OST)

SSE : Sipariş Sıçrama Eşiği (Oder Spike Threshold - OSH)

TAF : Talep Ayarlama Faktörü

TOC : Kısıtlar Teorisi (Theory of Constraints)

TOMİP : Talep Odaklı Malzeme İhtiyaç (Gereksinim) Planlaması (DDMRP)

TS : Tedarik Süresi

TZ/TZY : Tedarik Zinciri/ Tedarik Zinciri Yönetimi

TZD : Tam Zamanında Dağıtım (On Time Delivery - OTD)

ÜA : Ürün Ağacı (Bills of Material – BOM)

ÜKF : Üretim Kontrol Faaliyeti (Production Activity Control – PAC)

VUCA : Değişkenlik, Belirsizlik, Karmaşıklık ve Muğlaklık (Volatility, Uncertainty, Complexity, and Ambiguity)

WIP : Yarı mamul, (üretim sistemindeki) bitmemiş ürün (Work-in-Progress)

YBT : Yeşil Bölge Tepesi (DDMRP tamponu)

SEMBOLLER

IB_i : i istasyonu giriş tamponu

OB_i : i istasyonu çıkış tamponu

Q : Sipariş miktarı

NC : Kanban adedi (ilgili parça için konteyner adedi)

$\bar{d}$: Birim zamanda parça için ortalama talep

$\bar{w}$: Malzeme hareketi dahil üretimde bir konteynerin ortalama bekleme süresi

$\bar{p}$: Bir konteynerin ortalama işlem süresi

SC : Konteyner parça adedi

α : Emniyet stoğu katsayısı

ε : Rastgele hata (Deneysel hata)

β : Regresyon modeli bilinmeyen katsayıları

X_i : Deney tasarımı i faktörü (Bağımsız değişken)

Y : Deney tasarımı yanıt değişkeni (Bağımlı değişken)

CV : Değişim katsayısı

C_i : i ürününün çocuklarından oluşan küme

ats_i : i ürününün ayrışık tedarik süresi

ts_i : i ürününün tedarik süresi

x_i : i ürünü tampon durumu değişkeni, stok var ise 1, yoksa

1. GİRİŞ

Tedarik zincirleri mevcut kaynaklarını ve arz kapasitelerini, stratejik amaçlarına uygun şekilde en uçtaki müşteri talepleri ile eşleştirmek için sürekli bir devinim halindedirler. Bu dinamik yapı; arz ve talep kaynaklı tedarik zinciri belirsizliklerinin doğru ve süratli anlaşılmasını, tüm zincir boyunca malzeme ve bilgi akışının bütünleştirilmesini ve yönetilmesini gerektirmektedir. Tedarik zinciri yönetimi olarak adlandırılan bu sürecin süratli, etkin ve verimli yürütülmesi istenen seviyede müşteri gereksinimlerini karşılarken, maliyetleri azaltmaktadır. Tedarik zincirleri rekabet avantajlarını korumak ve müşteri memnuniyetlerini artırmak için değişen teknoloji ve müşteri beklentilerine süratle uyum sağlamak zorundadırlar. Bu kapsamda tedarik zinciri tasarımı, planlaması ve operasyonel kararları firmaların başarısında kritik rol oynarlar (Chopra ve Meindl, 2016).

Günümüzde VUCA (Değişkenlik, Belirsizlik, Karmaşıklık ve Muğlaklık) (Bennett ve Lemoine, 2014) dünyası olarak tanımlanan iş ortamında, tedarik zinciri stratejileri, üretim ve ürün geliştirme stratejileri ile bütünlük oluşturmalıdır. Kurumlar, rekabet ortamında hayatta kalabilmek için minimum maliyetle ve istenen zamanda dinamik pazar şatlarına ve değişken müşteri isteklerine cevap verebilmelidirler. Bu ortam aynı zamanda firmaları malzeme akışı, stok kontrolü, üretim planlaması ve talep yönetimi gibi alanlarda etkin ve verimli çözümler kullanmaya itmektedir.

Firmaların üretim fonksiyonlarında oluşan maaliyetler rekabet güçlerine etki eden önemli bir unsurdur. Bu nedenle üretim, firma stratejisinin belirlenmesinde ve hayata geçirilmesinde kritik stratejik bir role sahiptir (Acar ve Köseoğlu, 2014, s. 204). Özellikle pazar yönelimli firmaların üretim stratejileri pazar beklentilerini süratli ve tam zamanında karşılayacak şekilde konumlanmalıdır (Chapman, Arnold, Gatewood, ve Clive, 2017, s. 15). Bu noktada üretilen ürünlerin, firmanın temel amacı olan (Goldratt ve Cox, 1984) kâr elde etmelerine önemli ölçüde katkı sağlayan (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 49) üretim planlama ve kontrol sistemlerine önemli görevler düşmektedir.

Tedarik zinciri kapsamında müşterinin talep ettiği ürünün, istenen kalite ve zamanda en maliyet etkin şekilde üretilmesi ÜPK sistemlerinin etkin ve doğru kullanımı ile mümkün olacaktır (Benton, 2013, s. 2). Sistem yaklaşımıyla bakıldığında, bir ÜPK sisteminden etkin sonuçlar alabilmek için sistemin başlangıç parametre ve işletim politikalarının amaca uygun olarak belirlenmesi gereklidir. Bu durumda bile üretim ortamını etkileyen tedarik, talep ve üretim koşullarındaki değişikliklere göre sistemi uyarlayacak düzeltmeler gerekli olacaktır (Jodlbauer ve Huber, 2008).

1.1 Problem

Goldratt ve Cox (1984), firmaların çoğunun amacını kar elde etmek olarak ifade eder. Firmalar kar elde etmek için fiziki ve ekonomik akışlarını verimli ve etkin yönetmek zorundadırlar. Bu maksatla Son 50 yıllık zaman diliminde firmaların kaynaklarını en uygun şekilde kullanmalarını sağlayarak en az maliyetle müşteri talebini karşılamasını hedefleyen Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK) yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında başta Malzeme Gereksinim Planlaması (MRP – Materials Requirement Planning) , Tam Zamanında Üretim (JIT – Just-In-Time) ve Kısıtlar Teorisi (TOC – Theory of Constraints) olmak üzere İtme ve Çekme esaslı üretim yaklaşımları uygulamada ve akademik alanda geniş olarak yer almıştır.

Süratle değişen müşteri talep ve beklentileri ile artan ürün çeşitliliği, firmaları çok çeşitli ürün ağaçlarından oluşan karmaşık ve esnek üretim ortamları ile cevap vermeye yöneltmektedir. Günümüz VUCA dünyasının gerektirdiği bu dinamik üretim ortamında firmalar tedarik zincirlerindeki toplam maliyetleri azaltmak için kesintisiz bir baskı altında rekabet etmektedirler. Özellikle stok miktarını azaltırken daha iyi müşteri hizmet düzeyini gerçekleştirmek birbiri ile çelişen iki faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mevcut planlama ve kontrol sistemlerine kıyasla VUCA dünyasının getirdiği "yeni normal" şartlarda verimli bir şekilde malzeme akışını yönetmek hedefiyle 2011 yılında DDMRP (Talep Odaklı MRP – Demand Driven Materials Requirement Planning) yeni bir yaklaşım olarak sunulmuştur (Ptak ve Smith, 2011). MRP, Kanban, TOC ve 6 Sigma gibi geleneksel birçok yöntemde kökleri olan DDMRP çok aşamalı (multi-echelon) bir planlama ve yürütme yöntemidir. DDMRP amaca uygun bilgi ve malzemenin akışını korumak ve düzenlemek için stratejik olarak konumlandırılmış ayrıştırma (decoupling)

noktalarında stok tamponları (buffers) oluşturur ve yönetir. Etkili bir malzeme akışı ve stok kontrolü için DDMRP; stratejik olarak konumlandırdığı tamponlar sayesinde talep ve tedarikteki değişkenliği yönetmeyi, müşteri hizmet düzeyini artırırken stok seviyelerini değişimlere göre dinamik olarak uyarlamayı öngörmektedir. DDMRP, geleneksel MRP'nin planlama ve yürütme alanına getirdiği yöntem, kural ve araçların günümüz temsilcisi olmayı hedeflemektedir. (Ptak ve Smith, 2016).

ÜPK sistemleri, malzemelerin yönetilmesi, iş gücü ve makinelerin planlanması, ana müşteriler ve tedarikçilerle koordinasyon dahil olmak üzere üretimin tüm boyutlarıyla planlanması ve kontrolüne yönelik işlemleri yerine getirir. Ancak söz konusu işlemlerin farklı pazar koşulları ve firma stratejilerine bağlı olarak zaman içerisinde değişim gösterirler. Dolayısıyla ÜPK sistemi müşteri beklentilerini karşılama ve firmanın rekabetçi konumunu sürdürebilmesi için koşullardaki değişimlere süratle uyum gösterebilmelidir. (Jacobs, Berry, Whybark, ve Vollmann, 2011, s. 1).

Firmalar, ÜPK sistemlerinden hedefledikleri verimi elde edebilmeleri için en doğru parametreleri kullanarak sistemlerini çalıştırmalıdır. Bir ÜPK sistemi için optimum olarak belirlenen parametreler, ancak koşullar değişmediği sürece geçerli olacaktır. Tedarik, operasyon ve talep kaynaklı değişimler, başlangıç parametrelerinin dinamik olarak ayarlanması zorunlu kılmaktadır. Parametrelerin yeniden ayarlanmadığı koşullarda firmanın performansı olumsuz etkilenecektir. Bu durum firmaları sürekli olarak en uygun parametreleri belirlemeye yöneltirken, hangi parametrelerin performansı nasıl ve ne derecede etkileyeceği de önemli bir soru olarak ortaya çıkmaktadır (Jodlbauer ve Huber, 2008).

Seçici stok kontrolü, stok kalemlerini (SKU) gruplandırarak daha etkin bir stok kontrolü sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. ABC analizi bu maksatla yüksek değer, yüksek kullanım oranına sahip kalemleri belirlemek için kullanılan bir gruplandırma yöntemidir (Axsäter, 2015, s. 234). Stok yönetiminde uygulanacak kontrol esasları ABC analizi ile belirlenen grup bazında belirlenebilir ve böylece eldeki kaynaklar en çok kâr sağlayan stok kalemlerine yöneltilmiş olur. ABC sınıflandırma yönetimi tek bir kriteri (kullanım hacmi) göz önüne aldığından ABC analizini geliştiren ve tamamlayan yöntemler uygulamada ve literatürde yer almaktadır (van Kampen vd., 2012). Bunlar

arasında yer alan XYZ analizi stok kalemlerini talep değişkenlik katsayısına göre sınıflandırır (Scholz-Reiter, Heger, Meinecke, ve Bergmann, 2012). İki yöntemin birlikte kullanılması (ABC-XYZ) ile çok sayıda kaleme sahip stok sistemlerinde, SKU'lar talep ve kullanım özelliklerine göre dokuz farklı seviyede sınıflandırılabilmektedir. Böylece benzer özelliklere sahip SKU'lar için ortak stok yönetim kararlarının verilmesi, uygulanması ve takibi daha etkili olarak gerçekleştirilebilecektir.

Malzeme akışında itme ve çekme yaklaşımlarını bir araya getiren DDMRP, ürün ağacı (ÜA) yapısında stratejik olarak konumlandırdığı ve özel olarak boyutlandırdığı (büyüklüklerini belirlediği) tamponları kullanmaktadır (Dessevre vd., 2021; Martin vd., 2023). DDMRP kurulumunda tamponların nerede konumlandırılacağı stratejik stok konumlandırma problemi (Ptak ve Smith, 2016, s. 57; Rim vd., 2014) ve tamponların boyutlarını belirleyen özellik ve parametrelerin belirlenmesi (Damand vd., 2022; Martin vd., 2023) ayrı problemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Tamponların konumlandırılması ve boyutlandırılması gerek oluşacak toplam stok miktarı ve gerek taleplere zamanında ve yeterli seviyede cevap verebilme yeteneği bakımından önemlidir. Bu iki husus söz konusu firmanın stok maliyetleri ve müşteri hizmet düzeyi performansını doğrudan etkileyecektir.

Talep ve operasyon değişkenliklerinin var olduğu üretim ortamlarında doğru ÜPK parametrelerinin ve stok kararlarının birlikte oluşturulması karar vericiler için önemli bir problemdir. Çünkü bir yandan müşteri hizmet düzeyi için stok tutmak gerekirken diğer taraftan maliyetleri en aza indirmek için stokların azaltılması hedeflenmektedir. Ayrıca, talep ve arzdaki dinamik koşullar, birbirleri ile çelişen amaçların varlığı ve göz önüne alınması gereken parametre ve kısıtların çokluğu problemi daha karmaşık hale getirmektedir. Söz konusu problem bu tezde göreceli olarak yeni bir ÜPK yöntemi olan DDMRP özelinde ele alınmaktadır.

Problemi, DDMRP özelinde açık ve net ifade edebilmek için genel çerçevede üretim, üretim planlamada stok, üretim ve itme-çekme kavramlarına bakalım. Sonrasında DDMRP temel esaslarına bakarak problem somutlaştırılabilir.

Üretim planlamada stok kavramı: Tanyaş ve Baskak (2017, s. 17) üretimi "ekonomik değeri olan mal veya hizmetlerin oluşturulmasını sağlayan faaliyetler bütünü" olarak

tanımlar. Ürün ve hizmet yaratan faaliyetler tüm firmalarda meydana gelmektedir. Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK), bir işletmenin amaçlarına katkı sağlayan ve belirli miktar ve kalitedeki ürün talebini karşılamak için eldeki kaynakları en uygun şekilde kullanan bir üretim yönetim etkinliğidir. Müşteri için değer yaratan bir fonksiyon olan üretim, işletme karının artırılması, siparişlerin zamanında karşılanması ve eldeki kaynakların verimli kullanılmasına önemli katkıda bulunur. Kısaca TZ bakışıyla ÜPK, talep edilen ürünlerin, doğru miktar ve kalitede, doğru yer ve zamanda ve en maliyet etkin biçimde üretilmesini hedefler (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 49; Benton, 2013, s. 2) r.

Kobu (2014, s. 327), depo edilen ve üretime doğrudan veya dolaylı olarak katılan tüm fiziksel varlıkları (hammadde, yarı ürün, ürünler, parçalar ve diğer işletme malzemeleri) üretim sistemi içerisinde stok olarak tanımlamaktadır. Tedarik, operasyon ve talep kaynaklı belirsizlikler, özellikle ürün çeşidinin çok olduğu büyük üretim sistemlerinde stok bulundurmayı bir gereklilik haline getirmektedir. Stok düzeyleri ve emniyet stoklarına ilişkin kararlar üretim yönetimi içerisindeki önemli stok kararlarıdır (Kobu, 2014, s. 49).

Üretim planlama, üretimden önce yapılan faaliyetleri kapsar ve öncelikle üretim için gereken hammadde ve parçaların yeterliliğini sağlar. Bu maksatla gerekirse satın alma siparişleri oluşturur. Üretimin nasıl yapılacağını zaman, miktar ve lokasyon bazında eldeki kaynaklara göre belirler (Kobu, 2014, s. 17; Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 49).

Stok yönetimi, işletmenin amacına göre uygun miktar ve zamanda gereken malzemelerin hazır bulundurulmasını sağlar (CSCMP, 2018). Tedarikçiden son kullanıcıya olan malzeme akışının etkin ve verimli işletilmesini konu edinen malzeme yönetiminin de birinci işlevinin gerekli stok düzeylerini sağlamak olduğu görülmektedir (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 115). Stok yönetimi bu yönüyle malzeme yönetiminin önemli bir fonksiyonudur. Özellikle işletme varlıklarının %20-%60 arasındaki miktarı stokların oluşturduğu düşünülürse iyi bir stok yönetiminin gerekliliği daha iyi anlaşılacaktır. Stokun üretimi desteklemek için tutulması veya üretimin sonucunda ortaya çıkması bize üretim ve stokun birlikte koordinesinin ve planlamanın her seviyesinde düşünülmesinin gerekliliğini göstermektedir (Chapman vd., 2017, s. 233).

Benton, stok yönetimini etkileyen kararları şu şekilde ifade eder:

- *"Neyin stoklanacağı (en azından üreticinin gereksinimini karşılamalıdır).*
- *Stokları desteklemek için ne kadar yatırım yapılacağı.*
- *Sunulacak hizmet düzeyinin seviyesi."* (Benton, 2013, s. 111)

Yazarın da ifade ettiği gibi bir araya getirildiğinde karmaşık bir problem haline gelen bu kararlar birbirinden bağımsız verilemez. Ayrıca firmanın üretim süreci ve faaliyet gösterdiği endüstride ile de doğrudan ilintilidir. Tanyaş ve Baskak'a göre, yukarıdaki kararların alınmasında gözetilecek temel ilkeleri şunlardır:

- Üretim planlarındaki gereksinimlerin yeterli düzeyde karşılanması,
- Mevcut sermayenin stok tutmaya elverişli olması,
- Tedarik süreleri ve sipariş verme zamanlarının tespiti,
- Sipariş ve elde bulundurma maliyetleri,
- Üretim ve tedarikte parti büyülüğünün sağlayacağı avantajlar,
- Malzeme akışında uygun ve yeterli stok alanlarının varlığı. (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 209)

Stok ve üretim arasında sıkı bir ilişki olduğu görülmektedir. Üretim planlarının kesintisiz işletilmesi doğru işleyen bir stok sistemi ile mümkün olacaktır. Üretim stok yönetimi, üretimin birden çok aşamasında ürün ve mal stoklarının izlenmesi ve kontrolü olarak tanımlanabilir. Tanyaş ve Baskak (2017, s. 117) stok sistemlerinin ulaşmaya çalıştığı dengeyi üretimi aksatmayacak stok miktarı ile stokların maliyeti arasında konumlandırırlar. Dolayısıyla etkili bir üretim stok yönetimi üretim maliyetlerini azaltırken üretim operasyonlarındaki akışın kesintisiz olmasını sağlayacaktır. Böylelikle müşteri talebini karşılayacak ürünlerin, süresinde ve gereken miktarda bulundurulması sürekli olarak gerçekleşir.

Üretim stoklarının kendine has özellikleri olduğunu vurgulayan Ptak ve Smith (2011, s. 45) üretim ortamında stok yönetimini üretim planlamanın bir parçası olarak kabul eder. Yazarlar bu yönüyle üretim stoku yönetimini, üretim planını siparişlere ve detaylı malzeme gereksinimlerine dönüştüren bir fonksiyon olarak tanımlarlar.

Sermaye olan stokların üretim sisteminin doğal bir parçası olduğu görülmektedir. Dolayısıyla stok olgusu, ÜPK sistemlerinin kendine özgü kuralları doğrultusunda üretimde kullanılan her türlü stok, firma için maliyet oluşturacaktır. Bu husus üretimin yönetimini, planlamasını ve malzeme akışı yönetimini etkin ve doğru uygulamayı gerekli kılmaktadır. Konunun teorik detayları Bölüm 3'te konu bütünlüğü içerisinde sunulmuştur.

Üretim süreci tedarik zincirlerinin hammaddeden son ürüne tüm faaliyetleri içerisinde ana faaliyetlerinden birisidir. Tedarik Zinciri Yönetimi Derneği (ASCM, eski adıyla APICS), müşteri talebini karşılamak için gereken tüm işletme faaliyetlerini belirlediği güncellenmiş SCOR (Supply Chain Operations Reference) Modeli (ASCM, 2022) ile TZ yapısını altı temel süreç olarak tanımlar: 1. Planlama (Plan) 2. Sipariş (Order) 3. Tedarik (Source) 4. Dönüşüm (Transform) 5. Karşılama (Fulfill) 6. İade (Return). Burada "Dönüşüm" olarak ifade edilen dördüncü adım eski SCOR modellerinde kullanılan "Üretim" sürecinin yeni karşılığıdır. Hammaddelerin son ürünlere çevrildiği aktiviteler kümesi olarak bakıldığında, üretim süreci tedarik zincirindeki temel faaliyetlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır (Nahmias ve Olsen, 2015, s. 438).

Geleneksel tedarik zinciri stratejileri itme ve çekme olarak iki kategoride incelenebilir. İtme sistemlerinde üretim ve dağıtım planlama, müşteri siparişlerinin beklentisiyle uzun dönemli tahminlere dayandırılarak önceden yapılır ve üretim tamamlandıkça ürün bir sonraki seviyeye yönlendirilir. Çekme sistemlerinde ise üretim ve dağıtım kararları tahmin yerine gerçek müşteri talebine dayandırılır. Bu iki sistemin birlikte uygulandığı ve tedarik zincirinin genellikle üst (upstream) aşamalarında itme, aşağı (downstream) aşamalarında çekme sistemlerinin hâkim olduğu karma itme-çekme sistemleri de mevcuttur. Zincir üzerinde bu iki sistem itme-çekme sınırı arayüzüyle birbirinden ayrılır (Simchi-Levi, Kaminsky, ve Simchi-Levi., 2004, s. 42) .

Başta yüksek talep oynaklığı olmak üzere değişen ekonomik koşullar ve rekabet şartları firmaları; eldeki kaynakları müşteriye doğru "ittikleri" üretim odaklı yaklaşımdan, müşterilerin gerçek talebini "çektikleri" talep odaklı tedarik zincirler oluşturmaya yöneltmektedir. Talep odaklı zincirde, ikmal akışı müşterilerden başlar ve firma zincir

boyunca gerçek zamanlı talebi algılamak ve karşılık vermek için kendini hazırlar (Mendes, 2011).

Üretim bakışıyla İtme ve Çekme sistemleri; "*İtme sistemi, şu anki talebe reaksiyon olarak üretimi başlatırken, çekme sistemi gelecekteki talep beklentisiyle üretimi başlatır*" olarak özetlenebilir (Karmarkar'dan aktaran Nahmias ve Olsen, 2015, s. 439). Geleneksel üretim ve stok kontrolünde itme sistemleri kullanılır. Üretim önceden belirlenmiş bir çizelge esas alınarak yapılır ve sonrasında dağıtım merkezden alınan kararlarla depoların ikmal edilmesi şeklinde gerçekleşir. Çekme sistemlerinde ise önceden belirlenmiş bir çizelge yoktur. Çekme sistemi, müşteri siparişini karşılamak için gerekeni sadece gerektiğinde üretir. Yalın üretim anlayışının esası olarak betimlenen çekme yönteminde, üretim sürecindeki iş istasyonları bir sonraki istasyon talep etmedikçe üretim yapmaz. Dağıtımda da benzer şekilde depo tarafından ürüne talep olmadıkça ikmal yapılmaz (Chapman vd., 2017, s. 398).

İtme sistemleri değişen pazar şartlarına kısa sürede uyum sağlayamaz ve kamçı etkisi nedeniyle de kaynakların verimsiz kullanımına yol açabilir. Çekme sistemleri ise talep bilgisine tepki veremeyecek kadar uzun tedarik süresi durumunda kullanılamaz ve ölçek ekonomisinden yararlanmak, itme sistemlerine göre daha zordur. (Simchi-Levi vd., 2004)

Üretim planlama ve kontrol sistemleri içerisinde MRP ve JIT, hammadde ve bilginin akışını sağlayarak üretimin kontrol edilmesinde itme (MRP) ve çekme (JIT) bakışını temsil eden iki temel yaklaşımdır. Bu iki ÜPK yaklaşımının kullanım özellikleri, parametreleri ve kısıtları, temsil ettikleri itme-çekme bakışıyla detaylı olarak ileride Bölüm 3.5'te sunulmuştur.

DDMRP, MRP ve Dağıtım Gereksinimleri Planlamanın (DRP) uygun tarafları ile TOC ve Yalın üretimin çekme ve görünürlük vurgusu ve Altı Sigma'nın değişkenlik azaltma vurgusunu yenilikçi bir şekilde birleştirmiştir. (Ptak ve Smith, 2016, s. 52). Böylelikle VUCA dünyasında daha iyi performans hedefleyen DDMRP teori ve uygulamada bunu başarıyor gözükmektedir (Kortabarria vd., 2018; Thurer vd., 2020; DDI, 2023).

DDMRP işleyişinde iki temel öncül bulunur: (1) ortamdaki değişkenliği azaltmak için ürün ağacı ve/veya TZ ağ yapısında konumlandırdığı stok tamponları ve (2) bu

tamponların büyüklüklerinin başlangıç ve dinamik ayarlarının yapılması (Martin vd., 2023). Görünür ve sezgisel olarak anlaşılabilir yöntemleriyle ÜPK sürecini daha basit bir yapıda sunan DDMRP, ürün ağacı yapısında konumlandırdığı bu tamponları kullanarak malzeme akışını yönetmektedir. DDMRP, tamponları konumlandırmak için buluşsal kriterler (Bölüm 2.2.2) vermekte (Bayard vd., 2021) ancak bu kriterlerin uygulanması uzman görüşlerine göre farklılaşabilmektedir (Miclo, 2016). Dolayısıyla bu etkilerin üretim ortamına olan performans etkilerinin doğru anlaşılması gereklidir. Diğer öncül olan tamponların boyutlandırılması için DDMRP, çeşitli parametreler içeren kural tabanlı esaslar vermektedir (Bölüm 2.2.3). Bu parametreler belirli aralıktaki değerler arasından gene uzman görüşü ve tecrübi faktörler göz önüne olarak belirlenmektedir.

Müteakip bölümde (2.1) ortaya konulan literatür incelemesinde görüleceği üzere (1) DDMRP performansının diğer ÜPK sistemleri ile karşılaştırılması, (2) tamponların konumlandırılması ve (3) tampon boyutlarını belirleyen parametrelerin ayarlanması DDMRP çalışmalarının en yaygın yönlerini oluşturmaktadır. Stokların konumu ve boyutları performansı etkileyen temel yapılardır. Bu yönüyle stratejik stok konumlandırma (Ptak ve Smith, 2016, s. 57; Rim vd., 2014) ve tamponların parametrelerin belirlenmesi (Damand vd., 2022; Martin vd., 2023) DDMRP'nin performansını etkileyen iki önemli problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü üretim sisteminin stok maliyetleri ve müşteri hizmet düzeyi bu iki problemin çözümüne dayanacaktır. Bu iki problemin performansa etkilerinin anlaşılabilmesi için daha karmaşık üretim ortamlarında (Azzamouri vd., 2021; Bayard vd., 2021) ve daha fazla parametreyi ele alan (Martin vd., 2023) çalışmalar yapılması gereklidir.

Karmaşık üretim ortamlarında çok seviyeden oluşan ürün ağaçlarında çok sayıda stok tutma birimi (SKU) bulunmaktadır. Çok sayıda SKU'nun yer aldığı işletmelerde SKU'ların ürün karakteristiklerindeki değişkenlik, üretim ve stok politikalarının belirlenmesinde farklı yaklaşımları gerekli kılmaktadır. Ürünlerin maliyeti, kullanım oranı, kritikliği, talep sıklığı ve değişkenliği gibi özellikleri göz önüne alınarak sınıflandırmalar yapılmaktadır (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 125).

Yukarıdakilerin ışığında bu tez çalışmasında problem olarak; ABC-XYZ sınıflandırmalarına göre, arz ve talep değişkenlikleri altında DDMRP performansını

artıran tampon büyüklük parametrelerinin, tampon konumları ile etkileşimli olarak DDMRP metodolojisinde belirlenmesi ele alınacaktır. Bu maksatla DDMRP özelinde denenmemiş ABC ve XYZ sınıflandırma yöntemleri ile tampon konumlandırma ve boyutlandırma parametrelerinin etkileşimleri incelenecektir. İlave olarak yürütmede emirlerin önceliklendirmesinde; DDMRP'nin getirdiği kritik tampon seviyesi yaklaşımı, kalan teslim zamanı ve ABC bazlı önceliklendirme yaklaşımlarıyla birlikte ele alınarak diğer faktörlerle performans etkileşimi belirlenecektir. Böylece malzeme sınıflandırmaları bazında en iyi performans veren tampon ve parametre yapısı ile yürütmede önceliklendirme politikası belirlenerek DDMRP'nin etkin yönetilmesi sağlanacaktır.

Tezin müteakip bölümleri, Tablo 1'de açıklanan yapıya uygun olarak sunulacaktır.

Tablo 1. Tez Dokümanının Yapısı

Bölüm 1 - Giriş	Araştırma problemi ve araştırma soruları ifade edilerek çalışmanın amacı ve önemi belirlenmiştir.
Bölüm 2 - Literatür İncelemesi ve DDMP Esasları	DDMRP literatür incelemesi yapılarak, araştırmanın konumu ve katkısı belirlenmiş, sonrasında DDMRP esasları açıklanmıştır.
Bölüm 3 - Üretim Yönetimi ve ÜPK Sistemleri	ÜPK faaliyetleri ve hiyerarşik yapısı anlatılarak itme-çekme yaklaşımı ve üretim stratejilerinin ilişkisi sunulmuştur. Temel ÜPK sistemleri ve DDMRP metodolojisi açıklanmıştır.
Bölüm 4 - Metodoloji	Tezin ele aldığı problemi çözmek için kullanılacak araştırma yöntemi detaylarıyla açıklanmıştır. KOS yapısı, deney tasarımı ve senaryolar belirtilmiştir.
Bölüm 5 - Deneylerin Uygulanması ve Bulgular	Araştırma sorularına cevap verecek şekilde deney tasarımı ve diğer senaryo sonuçları açıklanmıştır.
Bölüm 6 - Sonuç ve Öneriler	Araştırma ile ulaşılan sonuçlar ve gelecek araştırma için öneriler.

1.2 Amaç

Bu tezde DDMRP tampon konumları ile tampon boyut parametrelerinden tedarik süresi ve değişkenlik faktörlerinin (sırasıyla TSF ve DF), ABC-XYZ sınıflandırma analizleri ile elde edilen malzeme grupları bazında incelenmesi; sistem performansına etkilerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu maksatla simülasyon ortamında DDMRP metodolojisi

modellenerek; ABC-XYZ sınıflandırmaları ile tampon konumları ve belirtilen boyutlandırma faktörleri deney tasarımı yaklaşımıyla analiz edilecektir.

Çalışmanın öncelikli amacı, ABC-XYZ sınıflandırmaları bazında performans kriterlerini en iyi yapan tampon konumu ve belirtilen boyutlandırma parametrelerinin saptanmasıdır. Çalışmada tampon konumlandırma noktaları son ürünler, son + montaj ürünler ve son + satın alınan ürünler bazında el alınacaktır. İkinci amaç, yürütmede DDMRP'nin uyguladığı kritik tampon seviyesi esaslı önceliklendirmenin ABC gruplamalarıyla geliştirilmesi ve performans üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Üçüncü amaç olarak DDMRP'nin, önceki çalışmalara göre daha karmaşık yapıdaki bir ürün ağacı ve üretim ortamında tampon konumlarının performansa etkilerinin anlaşılması hedeflenmektedir.

Tampon konumu ve belirtilen boyut parametreleri, üretim sisteminde oluşan stok maliyetleri ve tam sipariş karşılama oranı performans göstergeleri esas alınarak ABC-XYZ sınıflandırmaları bazında incelenecektir. Böylece, ABC-XYZ sınıflandırmaları göz önüne alınarak stok ve müşteri hizmet düzeyi bakımından etkin performans sağlayan DDMRP parametreleri önerilecektir.

Bu amaçla tez çalışmasında aşağıdaki araştırma sorularına (AS) cevap aranacaktır:

- AS-1: Ürün ağacında belirli ürün gruplarında konumlandırılmış DDMRP tamponları için, ABC ve XYZ sınıflandırmaları esas alınarak performans ve parametre ilişkisi kurulabilir mi?
- AS-2: Oluşturulan gruplar için, arz ve talep belirsizliği altında en az maliyetle en iyi müşteri hizmet seviyesini sağlayacak DDMRP parametreleri nasıl ayarlanabilir?
- AS-3: DDMRP'nin kritik tampon seviyelerini esas alan yürütme önceliklendirme yaklaşımı ABC kategorileri ile ayrıca önceliklendirilerek performans artırılabilir mi?
- AS-4: Tampon konumlarının sadece son ürünler, son ürünlere ilave satın alınan ürünler veya ara bileşenler bazında oluşturulması için ABC ve XYZ sınıflandırmaları esas alınarak genel politikalar oluşturulabilir mi?

1.3 Önem

Günümüz VUCA dünyasının getirdiği "yeni normal" şartlarda etkin ve verimli olmayı hedefleyen DDMRP, bunun için VUCA şartlarının gerektirdiği dinamik üretim ortamında

stok maliyetlerini azaltırken daha iyi müşteri hizmet düzeyini sağlayabilmelidir. Mevcut ÜPK sistemlerine bakıldığında göreceli olarak yeni olan DDMRP'nin bu kapsamda farklı koşullarda farklı parametrelerle nasıl performans göstereceğinin anlaşılması önemlidir.

Ayrıca, bir ÜPK sisteminden etkin sonuçlar alabilmek için sistemin başlangıç parametre ve işletim politikalarının amaca ve bulunulan şartlara uygun olarak belirlenmesi, talep ve üretim koşullarındaki değişikliklere göre sistemi uyarlayacak düzeltmelerin doğru yapılması gerekli olacaktır (Jodlbauer ve Huber, 2008). Dolayısıyla DDMRP'nin süratle değişen müşteri talep ve beklentileri ile artan ürün çeşitliliği karşısında etkin çalışabilmesi VUCA dünyasında önemli bir gerekliliktir.

Bu çalışma ile karmaşık ürün ağaçları ve değişken talep yapısı altında DDMRP tampon boyutuna etki eden TSF ve DF faktörlerinin ABC-XYZ analizleri ile istenen performansa uygun olarak belirlenmesi hedeflenmektedir. Böylece ABC ve XYZ sınıflandırma analizlerinin DDMRP yapısına eklenmesi ile DDMRP'nin planlama ve kontrol özellikleri, daha etkin ve kolay uygulanabilir olacaktır.

1.4 Varsayımlar

Literatür tedarik zinciri yapısı ve veri setleri ile kıyaslama yapılarak oluşturulacak modellerin doğrulanması ve geçerlenmesi yapılacaktır. Bu kapsamda hipotetik verilerden oluşan üretim ortamı ve elemanlarının, modelin anlatıldığı Bölüm 4'te yer alan tasarlanan üretim sistemini temsil edebileceği varsayılmıştır. Örnek vaka özelindeki varsayımlar Bölüm 4.5.3.6'da anlatılmıştır.

1.5 Sınırlılıklar

Çalışmada hipotetik verilere dayalı bir vaka uygulaması planlanmıştır. Literatürde yer alan yaygın üretim ortamı ve bunlarla ilgili karşılaştırmalı değerlendirme (benchmark) olanağı sağlayan veri setlerinden faydalanılacaktır. Dolayısıyla vaka çalışmalarının karakteristiği olan, çalışılan sistem için genelleme yerine o sistem özelinde sonuçlar elde edilebilecektir. Örnek vaka özelindeki kısıtlar Bölüm 4.5.3.6'da anlatılmıştır.

1.6 Tanımlar

Tedarik Zinciri Yönetimi (Supply Chain Management): Hammaddeden başlayıp tamamlanmış son ürünlerin uç kullanıcıya ulaştırılması ve geri dönüşümü dahil tüm süreçlerde yer alan işletmeler (tedarikçi, üretici, distribütör, perakendeci ve lojistikçiler) ile bu yapının oluşturduğu tedarik zincirinin performanslarını artıracak şekilde, zincirdeki ürün/malzeme, para ve bilgi akışının entegre yönetimidir (Acar ve Köseoğlu, 2014, s. iii).

Malzeme Yönetimi (Materials Management): Üretim için gereken malzemelerin (hammaddeler, yarı ürünler, ürünler, parçalar ve yardımcı malzemeler) en ekonomik şekilde istenen yer ve zamanda, uygun miktar ve kalitede hazır bulundurulması sağlayan fonksiyondur. Tedarikçiden üretime ve devamında müşteriye olan malzeme akışının, en az maliyetle en yüksek müşteri hizmet düzeyini sağlayacak şekilde planlanması ve kontrolüdür (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 111; Chapman vd., 2017, s. 21).

Stok Yönetimi (Inventory Management): Tedarik Zinciri Yönetimi Derneği (ASCM) tanımına göre işletme yönetiminin stok planlaması ve kontrolü ile ilgilenen dalıdır (Pittman ve Atwater, 2022, s. 98). Belirlenen amaca uygun olarak malzemelerin elde bulundurulmasını sağlar.

Üretim Yönetimi (Operations Management): (1) Girdileri son ürün ve hizmetlere dönüştüren faaliyetlerin planlanması, çizelgelenmesi ve kontrolü. (2) Tasarım mühendisliği, endüstri mühendisliği ve operasyonu etkileyen diğer disiplinlerden yararlanarak üretim veya hizmet organizasyonunun etkili planlaması, programlanması, kullanımı ve kontrolüne odaklanan bir çalışma alanı (Pittman ve Atwater, 2022, s. 132).

Ürün Ağacı (Bills of Material - BOM): Hammadde ve parçaların son ürünleri oluşturmak için nasıl birleştirileceğini veya ayrıştırıldığı gösteren miktarlar ve gerekli diğer özellikleri gösteren ürün yapısı. Liste veya ağaç yapısında her bir kalem (hammadde ve parçalar) için mutlaka kullanım miktarı ile “içerir” veya “oluşturur” ilişkililerini yansıtacak yapıda kullanılır. Bu tezde hammadde ve parçalar için “kalem” ifadesi ürün ağacı kapsamında eş anlamlı kullanılacaktır.

Ayrıştırma Noktası (Decoupled Point): “Süreçler veya birimler arasında bağımsızlık yaratmak maksadıyla ürün yapısı veya dağıtım ağında stok yerleştirilen noktalardır.” (ASCM sözlüğü) (Pittman ve Atwater, 2022, s. 50).

Kontrol Noktaları (Control Points): Kontrol noktaları, kısıtlar teorisinde (TOC), ürün ağacı yapısında bulunan ve planlama, çizelgeleme ve kontrol fonksiyonlarını kolaylaştıran stratejik lokasyonlardır. Kontrol noktalarına, giriş operasyonları, birleşen ve ayrışan noktalar, kısıtlar ve dağıtım noktaları örnek verilebilir (ASCM sözlüğü) (Pittman ve Atwater, 2022, s. 38).

Ayrıştırılmış Tedarik Süresi (Decoupled Lead Time): DDMRP metodolojisinde, ürün ağacı içerisinde korunmamış, yani tampon içermeyen, en uzun tedarik süresidir. İlgili ürünün tedarik süresi ile kümülatif üretim süresi arasında bir değerdir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ VE DDMRP ESASLARI

Bu bölümde literatürdeki DDMRP çalışmaları sunularak araştırma boşlukları belirlenecektir. Bu doğrultuda tez çalışmasının katkı sağlayacağı alan ve konumu tanımlanacaktır. Sonrasında DDMRP işleyişine ait genel esaslar sunulacaktır.

2.1 DDMRP Literatür İncelemesi

DDMRP ilgili literatür taramasında kaynakların elde edilmesinde takip edilen yöntem Tablo 2'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 2. Literatür Taraması Yöntem Özeti

Araştırma veri tabanları	EBSCO, Web of Science, Scopus, ProQuest, ProQuest Dissertations & Theses, Google Akademik, YÖK Ulusal Tez Merkezi
Arama anahtar kelimeleri	"DDMRP" OR "Demand-driven MRP" OR "Demand driven MRP" OR "DDS&OP" OR "Demand-driven sales and operations planning" OR "Demand driven sales and operations planning"
Kapsadığı periyod	2011 ve sonrası (08 Ağustos 2023)
Dahil etme kriterleri	Başlık, öz ve anahtar kelimelerinde arama anahtarları (en az biri) geçen, hakemli dergi makale ve konferans bildirileri ile yayınlanmış doktora tezleri.
Hariç tutma kriterleri	Araştırma temeli DDMRP yöntemine dayanmayan çalışmalar. Yayın dili İngilizce veya Türkçe dışında olanlar.

Mevcut üretim planlama ve kontrol yöntemlerinin mevcut yetersizliklerine çözüm olarak sunulan DDMRP, göreceli olarak yeni bir yaklaşım olmasına rağmen endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (DDI, 2023). Akademik alandaki DDMRP araştırmaları başlangıçta sınırlı sayıda olmasına rağmen (Balcıoğlu ve Tanyaş, 2019), son yıllardaki çalışmalarda ivmelenen bir artış gözlemlenmektedir (El Marzougui vd., 2020; Azzamouri vd., 2021). Bu nedenle, araştırmamızın mevcut çalışmalar arasındaki yerinin doğru konumlandırılması, çalışmanın amacı ve hedeflerinin anlaşılması bakımından önemlidir.

Tablo 2'deki yöntem doğrultusunda yapılan literatür incelemesinde (son güncelleme 08 Ağustos 2023) 28 makale, 22 bildiri, 2 kitap bölümü ve 4 doktora tezi olmak üzere toplam 56 kaynak çalışmaya dahil edilmiştir. Ulaşılan bu kaynaklar ve kullandıkları araştırma yöntemi ile DDMRP kapsamları Tablo 3'te listelenmiştir.

Tablo 3. DDMRP Literatür Araştırması

No	Yazar ve Yılı	Başlık	Yayın Türü	Temel Yöntem	Araştırma Yaklaşımı	DDMRP Kapsamı
1	Rim, Jiang ve Lee (2014)	Strategic inventory positioning for MTO manufacturing using ASR lead time	Kitap Bölümü	Amprik	Optimizasyon	(1)
2	Ihme (2015)	Evaluating Demand Driven MRP: a case based simulated study	Bildiri	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi	(2)
3	Ihme ve Stratton (2015)	Interpreting and Applying Demand Driven MRP: A Case Study	Doktora Tezi	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi	(2)
4	Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe ve Milian (2015)	MRP vs. Demand-Driven MRP: Towards an Objective Comparison	Bildiri	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi	(2)
5	Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe ve Milian (2016)	An empirical comparison of MRPII and Demand-Driven MRP	Bildiri	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(2)
6	Jiang ve Rim (2016)	Strategic Inventory Positioning in BOM with Multiple Parents Using ASR Lead Time	Makale	Amprik	Optimizasyon	(1)
7	Miclo (2016)	Challenging the “Demand Driven MRP" Promises: A Discrete Event Simulation Approach	Doktora Tezi	Amprik	Vaka Analizi, Simülasyon, Deney Tasarımı	(2)
8	Shofa ve Widyarto (2017)	Effective Production Control in an Automotive Industry: MRP vs. Demand-Driven MRP	Bildiri	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi	(2)
9	Jiang ve Rim (2017)	Strategic WIP Inventory Positioning for Make-to-Order Production with Stochastic Processing Times	Makale	Amprik	Optimizasyon	(1)
10	Martin, Baptiste, Lamothe, Miclo ve Lauras (2018)	A process map for the demand driven adaptive enterprise model: Towards an explicit cartography	Bildiri	Kavramsal	Kavramsal Modelleme, Anket	(5)
11	Baptiste (2018)	DDMRP: Scheduling opportunities in case of complex BOMs	Bildiri	Amprik	Modelleme	(5)
12	Shofa, Moeis ve Restiana (2018)	Effective production planning for purchased part under long lead time and uncertain demand: MRP Vs demand-driven MRP	Bildiri	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi	(2)
13	Kortabarria, Apaolaza, Lizarralde ve Amorrortu (2018)	Material Management without Forecasting: From MRP to Demand Driven MRP	Makale	Keşfedici	Anket, Vaka Analizi	(2)
14	Kortabarria (2018)	Analysis of the performance of Demand Driven Material Requirements Planning on supply chain management: A multiple case study	Doktora Tezi	Keşfedici	Anket, Çoklu Vaka Analizi	(2)
15	Lee ve Rim (2019)	A Mathematical Safety Stock Model for DDMRP Inventory Replenishment	Makale	Amprik	Modelleme, Simülasyon	(3)(5)
16	Dessevre vd. (2019)	Decoupled Lead Time in finite capacity flowshop: a feedback loop approach	Bildiri	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(3)(5)
17	Balcıoğlu ve Tanyaş (2019)	Talep Odaklı Malzeme İhtiyaçları Planlaması Metodolojisi Hakkında Literatür İncelemesi	Bildiri	Keşfedici	Literatür Araştırması	(5)(6)

No	Yazar ve Yılı	Başlık	Yayın Türü	Temel Yöntem	Araştırma Yaklaşımı	DDMRP Kapsamı
18	Pekarcikova, Trebuna, Kliment ve Trojan (2019)	Demand driven material requirements planning. some methodical and practical comments	Makale	Amprik	Simülasyon (Excel), Kavramsal Analiz	(2)
19	Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe ve Melnyk (2019)	Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management	Makale	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(2)
20	Bahu, Bironneau ve Hovelaque (2019)	First insights into DDMRP: how does it work and why do companies choose it? Compréhension du DDMRP et de son adoption : premiers éléments empiriques.	Makale	Keşfedici	Literatür Araştırması	(5)(6)
21	Martin vd. (2019)	Process control and decision-making for Demand Driven Sales and Operations Planning	Bildiri	Amprik	Kural Tabanlı Modelleme	(5)(3)
22	Dessevre vd. (2020)	A DDMRP implementation user feedbacks and stakes analysis	Bildiri	Amprik	Vaka Analizi	(5)
23	Velasco-Acosta, Mascle ve Baptiste (2020)	Applicability of Demand-Driven MRP in a complex manufacturing environment	Makale	Amprik	Simülasyon	(1)(5)
24	Orue, Lizarralde ve Kortabarria, (2020)	Demand Driven MRP - The need to standardise an implementation process	Makale	Kavramsal	Literatür Araştırması	(4)(5)(6))
25	Achergui, Allaoui ve Hsu (2020)	Strategic DDMRP's Buffer Positioning for hybrid MTO/MTS manufacturing	Bildiri	Amprik	Optimizasyon	(1)
26	Vidal, Lauras, Lamothe ve Miclo, (2020)	Toward an Aggregate Approach for Supporting Adaptive Sales and Operations Planning	Bildiri	Amprik	Kavramsal Modelleme, Simülasyon, Vaka Analizi	(5)(3)
27	Azzamouri, Baptiste, Dessevre ve Pellerin (2021)	Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP): A Systematic Review and Classification	Makale	Kavramsal	Literatür Araştırması	(4)(5)(6)
28	Abdelhalim, Hamid ve Tiente (2021)	Demand Driven Material Requirements Planning Buffer Positioning Considering Carbon Emissions	Bildiri	Amprik	Optimizasyon	(1)(5)
29	Iki ve Ishak (2021)	Development of Forecasting Model with Simple Smoothing and Inventory Model with DDMRP in Veterinary Medicine Industry	Bildiri	Amprik	Modelleme, Simülasyon	(5)
30	Mantilla, Arivilca, Aparicio ve Nunura (2021)	Modelo de optimización de gestión de inventarios basado en las metodologías 5S y DDMRP en Pymes comerciales (Inventory management optimization model based on 5S and DDMRP methodologies in commercial SMEs)	Bildiri	Amprik	Kavramsal Modelleme, Simülasyon, Vaka Analizi	(5)
31	Abdelhalim, Hamid ve Tiente (2021)	Optimisation of the Automated buffer positioning model under DDMRP logic	Bildiri	Amprik	Optimizasyon	(1)
32	Bayard, Grimaud ve Delorme (2021)	Study of buffer placement impacts on Demand Driven MRP performance	Bildiri	Amprik	simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(1)
33	Sahai ve Seth (2021)	Supply Chain Transformation- through DDMRP approach	Makale	Kavramsal	Kavramsal Analiz	(5)
34	Butturi, De Rosa, Balugani ve Gamberini (2021)	Understanding the Demand Driven Material Requirements Planning Scope of Application: a Critical Literature Review	Bildiri	Kavramsal	Literatür Araştırması	(5)

No	Yazar ve Yılı	Başlık	Yayın Türü	Temel Yöntem	Araştırma Yaklaşımı	DDMRP Kapsamı
35	Dessevre, Baptiste, Lamothe ve Pellerin (2021)	Visual charts produced by simulation to correlate service rate, resource utilization and DDMRP parameters	Makale	Amprik	simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(3)
36	Lahrichi, Damand ve Barth (2022)	A first MILP model for the parameterization of Demand-Driven MRP.	Makale	Amprik	Optimizasyon (MILP)	(2)
37	Damand, Lahrichi ve Barth (2022)	A simulation-optimization approach to parameterize Demand-Driven Material Requirements Planning	Bildiri	Amprik	Optimizasyon (Heuristic NSGA-II), Deney Tasarımı	(3)
38	Haci Mohammad, Benali ve Baptiste (2022)	An Optimization Model for Demand-Driven Distribution Resource Planning DDDRP	Makale	Amprik	Optimizasyon (MINLP)	(1)
39	Achergui, Allaoui ve Hsu (2022)	Demand Driven MRP with supplier selection	Bildiri	Amprik	Optimizasyon	(1)(5)
40	Azzamouri, Baptiste, Pellerin ve Dessevre (2022)	Impact of the continuous and periodic assessment of a buffer replenishment on the DDMRP method	Makale	Amprik	simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(3)
41	Damand, Lahrichi ve Barth (2022)	Parameterisation of demand-driven material requirements planning: a multi-objective genetic algorithm	Makale	Amprik	Optimizasyon (Heuristic NSGA-II), Deney Tasarımı	(3)
42	Thurer, Fernandes ve Stevenson (2020)	Production planning and control in multi-stage assembly systems: an assessment of Kanban, MRP, OPT (DBR) and DDMRP by simulation	Makale	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(2)
43	Franco-Quispe, Yauri-Tito, Cabel-Pozo ve Raymundo (2022)	Production Planning and Control Model to Increase On-Time Deliveries Through Demand-Driven MRP and PDCA in a Make-to-Order Environment of Non-primary Manufacturing Industry	Makale	Amprik	Kavramsal Modelleme, Simülasyon, Vaka Analizi	(5)
44	Paredes, Ciro ve Jaramillo (2022)	Simulation of an Inventory Policy Based on the Demand Driven MRP Methodology from a Petri Nets Approach	Makale	Amprik	Simülasyon, Vaka Analizi	(1)(4)(5)
45	Bertolotti (2022)	Variables clustering method to enable planning of large supply chains	Kitap Bölümü			
46	Corsini, Costa, Cannella ve Framinan, (2022)	Analysing the impact of production control policies on the dynamics of a two-product supply chain with capacity constraints	Makale	Amprik	simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(3)
47	Dessevre vd. (2023)	Comparison of pull management policies for a divergent process with DDMRP buffers: an industrial case study.	Makale	Amprik	simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(3)
48	Martin, Lauras ve Baptiste (2023)	Dynamical multi-parameter sizing of DDMRP buffers in finite capacity flow-shops	Makale	Amprik	simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(3)
49	Cuartas ve Aguilar (2022)	Hybrid algorithm based on reinforcement learning for smart inventory management	Makale	Amprik	Takviyeli Öğrenme (Reinforced Learning), Simülasyon, Vaka Analizi	(3)(5)
50	Velasco-Acosta, 2021 (2021)	Développement d'une méthodologie de sélection de méthodes pour la planification et le contrôle de la fabrication	Doktora Tezi	Amprik	simülasyon, Vaka Analizi, Deney Tasarımı	(1)(3)(5)

No	Yazar ve Yılı	Başlık	Yayın Türü	Temel Yöntem	Araştırma Yaklaşımı	DDMRP Kapsamı
51	Gonzales-Romero vd. (2022)	DDMRP tools to increase the rate of project compliance in manufacturing SMEs in the metalworking sector	Bildiri	Amprik	simülasyon, Vaka Analizi	(5)
52	Benavente vd. (2023)	The Demand Driven MRP Implementation in Complex Manufacturing Industries: A Systematic Literature Reviews	Makale	Kavramsal	Literatür Araştırması	(5)(6)
53	El Marzougui vd. (2023)	Industry 4.0 Technologies on Demand Driven Material Requirement Planning: Theoretical Background and Impacts	Makale	Kavramsal	Kavramsal Analiz	(5)(6)
54	Xu vd. (2023)	An efficient production planning approach based demand driven MRP under resource constraints	Makale	Amprik	Optimizasyon (Buluşsal Grey Wolf Optimization), Deney Tasarımı	(2)(5)
55	Favaretto vd. (2023)	A theoretical validation of the DDMRP reorder policy	Makale	Amprik	Optimizasyon, Kavramsal Analiz	(3)(4)(5)
56	Aguilar vd. (2023)	A smart DDMRP model using machine learning techniques	Makale	Amprik	Makine Öğrenmesi Simülasyon, Vaka Analizi	(3)(5)

AÇIKLAMALAR: DDMRP kapsamı beş madde olarak ifade edilmiştir:
1. DDMRP stok konumlandırma
2. DDMRP performansının değerlendirilmesi / diğer yöntemlerle karşılaştırılması
3. DDMRP parametrelerinin ayarlanması ve kullanım yaklaşımlarının belirlenmesi
4. DDMRP kurulumunun incelenmesi
5. DDMRP kavramlarının Analizi ve Geliştirilmesi
6. DDMRP Literatür taraması

DDMRP ile ilgili çalışmalar dünya genelinde tez ve akademik yayın olarak artarken, profesyonel tedarik zinciri ve üretim yönetimi alanlarından ilgi görmeye devam etmektedir (El Marzougui vd., 2020; Azzamouri vd., 2021). DDMRP çalışmalarına genel olarak bakıldığında; DDMRP'nin fayda ve olumsuzluklarının objektif olarak ele alınması (El Marzogui vd., 2020) ile standart kurulum ve işletim esaslarının daha kesin olarak belirlenmesi (Orue vd., 2020) yönünde gelecek çalışmalar işaret edilmektedir. Basit ürün ağacı kullanılarak yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçların, karmaşık ürün ağacı içeren endüstri kollarında da geçerliliğinin sınanması özellikle önerilmektedir (Benavente vd., 2023).

Tablo 3'teki literatür incelendiğinde, DDMRP çalışmaları şu başlıklar altında toplanabilir:

- DDMRP Tamponlarını (Stok) konumlandırma
- DDMRP performansının değerlendirilmesi/diğer yöntemlerle karşılaştırılması

- DDMRP parametrelerinin ayarlanması
- DDMRP kurulumunun incelenmesi
- DDMRP kavramlarının analizi ve geliştirilmesi
- DDMRP literatür taraması

Yapılan çalışmalar gerek performans karşılaştırması olsun gerek stok konumlandırma veya parametre ayarlaması olsun, içerisinde DDMRP yöntemini (Bölüm 2.2) bütün olarak, ancak farklı varsayımlarla kullanmaktadır. Örneğin performans karşılaştırmaya odaklanan bir çalışma, stok konumlandırma ve temel parametreleri ayarlanmış varsaymaktadır. Benzer şekilde stok konumlandırmayı önceliklendiren bir çalışma bazı parametreleri en iyi durumunda varsayarak sonuçlara ulaşmaktadır. Dolayısıyla, literatürdeki DDMRP çalışmalarının; performans, stok konumlandırma ve parametre ayarlaması boyutlarıyla incelenmesi tez çalışmasının konumunun anlaşılması ve katkısının belirlenmesi bakımından önemlidir.

2.1.1 DDMRP performansının değerlendirildiği ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığı çalışmalar

DDMRP hakkındaki ilk akademik çalışmalardan biri olan doktora tezi (Ihme, 2015) ve onu esas alan çalışmada Ihme ve Stratton (2015), MRP kullanmakta olan bir mürekkep üretim tesisindeki problemleri analiz ederek MRP yerine DDMRP kullanılmasının performans etkilerini incelemiştir. Performans karşılaştırması, firmanın ERP sisteminden alınan geçmiş bir yıllık verilerle DDMRP yönteminin simülasyon ortamında çalıştırılmasına dayanmaktadır. Çalışmada, MRP'ye göre DDMRP kullanımı ile stok düşük ve yüksek ikazları sırasıyla %43 ve %45 azalırken, stoksuz kalmanın %95, toplam stok seviyesinin ise %2 azaldığı görülmüştür.

Miclo (2016) doktora tezinde, daha önceki çalışmalarını (Miclo vd., 2015; Miclo vd., 2016) geliştirerek kesik olay simülasyonu ile DDMRP, MRPII ve Kanban yöntemlerini TZD ve İş Sermayesi (stoklar ve yarı-mamul stoku dâhil) performansları bakımından kıyaslar. Talep değişkenliğinin olmadığı ortamlarda üç yöntem de benzer performans gösterirken, yüksek değişkenlik ve büyük talep sıçramalarının olduğu durumlarda DDMRP diğer yöntemlere üstünlük sağlamaktadır. Çalışmada DDMRP'nin temel

başlangıç parametresi olan stok konumlandırma bir grup uzman görüşü alınarak yapılmakta, tüm deney tasarımında değiştirilmeden kullanılmaktadır.

Miclo ve diğerleri (2019), Miclo'nun tezini (2016) esas alan çalışmada planlama metodu (üç seviye- DDMRP, MRPII ve Kanban) ve talep (iki seviye- düşük ve yüksek) faktörlerini deney tasarımı ile simülasyon ortamında istatistiksel olarak analiz ederler. Faktör ve seviyelerini TZD, Ort. ve Std.Sap. Çevrimiçi stok ile Ort. ve maksimum gecikmiş sipariş sayısı performans göstergeleri (bağımlı değişken) için ikili karşılaştırma ve ANOVA analizlerine tabi tutarlar. Sonuçlar DDMRP'nin anlamlı şekilde diğerlerine baskın geldiğini göstermektedir.

Shofa ve Widyarto (2017), DDMRP ve MRP'yi bir otomotiv fabrikasının üç parçası için simülasyon ortamında karşılaştırırlar. MRP için 52 gün olan temin süresi, tüm satın alınan ürünlerin tampon noktası olarak alındığı DDMRP'de 4 günlük ATS olarak gerçekleşmektedir. Bu durumda TS %94 azalmış olmaktadır, ancak çalışmada stok miktarındaki toplam artış ve bunun maliyeti göz ardı edilmektedir. Ayrıca simülasyon içim alınan 4 haftalık çalıştırma süresi sağlıklı ve tutarlı sonuç bakımından gerçekçi değildir. Benzer bir simülasyon çalışmasını Shofa, Moeis ve Restina (2018) bir imalathanede satın alınan tek bir kalem için yapmışlar ve DDMRP ile ortalama stoklarda MRP'ye göre azalma (106,852 adet/gün'den 95,284 adet/gün'e) olduğunu göstermişlerdir.

Gerçek bir vaka analizinde Kortabarria ve diğerleri (2018), MRP'den DDMRP sistemine geçen bir firmada keşfedici ve betimleyici yöntemle performans değişikliklerini incelemişlerdir. Çalışma gerçek bir firmada DDMRP kurulumunu sunması bakımından ilk çalışmadır ve DDMRP ile stok seviyeleri azalırken, malzeme tüketiminin hızlandığı görülmektedir. Ayrıca DDMRP ile ilgili yazılım sistemi firmaya, tedarik zincirinde daha görünür bir malzeme yönetimi sağlamaktadır.

Thurer vd. (2020), Kanban, MRP, OPT (DBR) ve DDMRP üretim planlama ve kontrol sistemlerinin performanslarını, çok aşamalı montaj ortamında simülasyon ile değerlendirmişlerdir. Çalışma, Jodlbauer ve Huber'in (2008) geliştirdikleri modele dayanmakta ve her biri üç seviyeden oluşan iki faktör darboğaz (yok, orta, şiddetli) ve teslim tarihi sıkılığı (sıkı, orta, gevşek) kullanılmaktadır. Performans kriteri olarak tam

zamanında dağıtım oranı, son ürün stoku ve ara ürün stoku esas alınmaktadır. MRP en kötü performansı gösterirken, darboğaz yokluğunda DDMRP ve kanban en iyi, darboğaz orta seviye iken DDMRP (daha düşük stok seviyesi ile) ve OPT en iyi performansı göstermişlerdir.

Corsini ve diğerleri (2022), fabrika ve perakendeciden oluşan iki kademeli ve iki ürünlü bir TZ modeli üzerinde üretim kontrol politikalarını karşılaştırırlar. İki aşamalı deney tasarımı ile ilk olarak DDMRP ile Koruma Koridoru Politikası (Hedging Corridor Policy) ve iki varyantı için endojen faktörleri cevap yüzeyi metodu ile kalibre ederler. İkinci aşamada ise üretim kontrol yöntemlerinin etkinliklerini (sipariş karşılama oranı, ortalama stok düzeyi değeri ve değişkenliği) tam faktöryel tasarım ile farklı koşullarda değerlendirirler. Koruma Koridoru Politikası sipariş karşılama oranı açısından tüm TZ'de en iyi sonuçları verirken, DDMRP fabrika kademesinde stok seviyelerinde en büyük değişkenliği göstermiştir. Deney tasarımlarında DDMRP parametreleri değiştirilmeden sabit olarak kullanılmıştır.

Xu ve diğerleri (2023), planlama yöntemi olarak DDMRP ve sipariş noktası yönteminin kullanıldığı çalışmada kapasite ve depolama kısıtları altında üretim planlama amacıyla bir optimizasyon modeli sunarlar. Buluşsal Gri Kurt (Grey Wolf) optimizasyon yöntemi kullanarak farklı talep yapısında 22 planlama periyodu için elde edilen çözümler, DDMRP yönteminin malzeme talebi ve tampon seviyelerini daha dinamik ve etkin olarak ayarlayabildiğini göstermektedir.

DDMRP konseptini tek bir tampon özelinde ele alan Favaretto ve diğerleri (2023), tek kalem dinamik parti büyüklüğü belirleme problemine dayanan bir optimizasyon modeli sunarlar. Stokastik talep ve temin sürelerini esas alan karma tam sayılı doğrusal programlama modeli ile stok maliyetlerini azaltmayı hedeflerken, belirlenen müşteri hizmet düzeyini kısıt olarak gözetirler. Yazarlar, daha sonra bu model ile DDMRP yönteminin önerdiği tampon oluşumunu karşılaştırırlar ve DDMRP yönteminin belirli koşullarda optimale eş değerler verdiğini ortaya koyarlar.

DDMRP'nin stok performansını inceleyen diğer bir çalışma Cuartas ve Aguilar (2022) tarafından makine öğrenmesi (takviyeli öğrenme) kullanılarak yapılmıştır. Çalışma bir ürünün optimal alım zaman ve miktarını belirlemede takviyeli öğrenme (Q-öğrenme)

yöntemini kullanan bir algoritma sunmaktadır. Stok yönetiminde DDMRP metodolojisinin kullanıldığı çalışma, DDMRP hedef stok seviyesi ile gerçekleşen stok miktarı arasındaki farkı minimize etmeye çalışan bir amaç fonksiyonuna sahiptir. Önerilen algoritma, teorik ve gerçek vakalara uygulandığında belirlenen performans göstergeleri açısından teorik DDMRP'ye göre iyi sonuçlar sağlamaktadır. Yazarlar, ayrıca DDMRP'nin verdiği teorik optimal (hedeflenen) stok seviyesi fonksiyonunun değişik bir versiyonunu kullanarak daha iyi sonuçlar elde ederler. Bu doğrultuda Aguilar ve diğerleri (2023) geliştirilen karma DDMRP modelini makine öğrenmesi yöntemleri ile kullanarak neyin ne zaman alınacağını belirleyen "akıllı stok yönetimi" yaklaşımını sunarlar.

2.1.2 DDMRP stok konumlandırma çalışmaları

DDMRP stok konumlandırmayı, sunduğu metodolojinin ilk adımı olarak uygulamaktadır. Ürün ağacı üzerinde hangi ayrışık (decoupled) ürün için tampon oluşturulacağı kararı stratejik tampon konumlandırma problemi olarak adlandırılmaktadır. Burada çok kademeli stok konumlandırmanın, ürün ağacı üzerinde farklı aşamalar için kullanıldığını belirtmek gerekir (Achergui vd., 2020). Ürün ağacındaki yapı, çok kademeli (multi-echelon) bir tedarik zinciri yapısına benzer düşünülebilir. Bu durumda nerede stok tutulacağı kararı ürün ağacındaki bir ürünün temsil ettiği bir nokta ile TZ ağındaki bir nokta ile benzer olmaktadır. Gerçek TZ'lerinin karmaşık yapısı, hizmet düzeyleri ile ilgili doğrusal olmayan fonksiyonlar ve birbirine bağlı çok sayıdaki karar değişkeninin varlığı, optimum stok kararlarının elde edilmesini zor hale getirmektedir (Eruguz vd., 2016). Bu durum ürün ağacındaki konumlandırma için de geçerlidir.

DDMRP metodolojisinde ürün ağacı yapısında hangi noktalarda tampon oluşturulacağı kararı ATS'yi belirleyen en temel unsurdur. ATS diğer parametrelerle (OGK, TSF ve DF) beraber tampon boyutlarını hesaplamada kullanıldığından, stok konumlandırma sistemde oluşturulacak toplam stok miktarını ve buna bağlı maliyetleri etkileyecektir. Bu yönüyle stok konumlandırmanın başlıca ayrı bir DDMRP parametresi (temel parametre) olarak ele alınması ve incelenmesi önemlidir.

DDMRP'nin ilk aşaması olan stok konumlandırmaya ilişkin ilk çalışmada Rim, Jiang ve Lee (2014), tek son ürün içeren ürün ağacı üzerinde DDMRP tamponlarını

konumlandırmak için doğrusal olmayan bir matematiksel model kurarlar. Yazarlar, son ürünün müşteri bekleme süresini gözeterek en az stok maliyeti veren stok tampon konumlarını belirleyen modelin çözümü için Genetik Algoritma (GA) esaslı bir çözüm sunarlar. Yazarlardan Rim ve Jiang, çalışmayı geliştirilerek, ürün ağacında çoklu ebeveyn-çocuk ilişkisini destekleyen (2016) ve iş istasyonları işlem zamanlarının stokastik olduğu (2017) yapıda GA bazlı çözümler sunarlar.

DDMRP tamponlarının stratejik konumlandırmasına ilişkin daha yeni bir çalışma Achergui vd. (2020) tarafından yapılmıştır. Çalışma, Rim ve diğerlerinin (2014) vermiş olduğu modele dayandırılmakta ve MTO/MTS karma üretim ortamlarında tampon konumlandırması yapılmaktadır. Belirli bir müşteri hizmet süresi kısıtı altında stok tutma maliyetini minimize eden çalışmada çözüm için Rim ve diğerlerinin (2014) doğrusal olmayan optimizasyon modelini doğrusallaştıran yeni bir formülasyon verilmekte ve karma tam sayılı doğrusal programlamaya (MILP) dayalı buluşsal bir algoritma ile çözüm sağlanmaktadır. Algoritma maliyet ve zaman optimizasyonlarının yapıldığı alt problemleri CPLEX 12.8.0 kullanılarak çözmektedir. Çalışmada talep ve tedarik değişkenlikleri yer almamakta ve üretim ortamı kapasitesi sınırsız kabul edilmektedir. Ayrıca buluşsal modelin daha büyük ürün ağaçları için performansı denenmemiştir.

Mohammad ve diğerleri (2022), ürün ağacından farklı olarak dağıtım ağında DDMRP ile yönetilen tampon stokların konumlandırılmasını incelemişlerdir. Çalışmada, DDMRP ile yönetilen bir dağıtım ağı üzerinde optimal stok konumlarını bulmak için doğrusal olmayan tam sayılı programlama (MINLP) modeli önerilmektedir. Dağıtım ağında stok tutma maliyetlerini minimize eden modelin sonuçları ayrıca Dağıtım Kaynakları Planlama (DRP) ile karşılaştırılmaktadır. Önerilen MINLP modeli stok tutma maliyetlerinde %75, stok miktarlarında %67 azalma sağlamaktadır. Çalışma tek ürünü, kapasite kısıtı olmadan ele almaktadır. Ayrıca çalışmada doğrusal olmayan modelin çözümünün global veya lokal optimum olduğu konusu belirtilmemiştir.

Optimizasyon modellerinden farklı olarak DDMRP stok konumlandırmanın başta performans etkileri olmak üzere analizini yapan iki çalışma özellik arz etmektedir. Bunlar Velasco-Acosta vd. (2020) ile Bayard vd. (2021) tarafından yapılan çalışmalardır.

Velasco-Acosta vd. (2020), kompleks bir üretim ortamında DDMRP'nin uygulanabilirliğini simülasyon ortamında incelemişlerdir. Çalışmada 4 seviye ve nihai ürün dahil 10 parçadan oluşan bir şablon ürün ağacı esas alınarak 7 farklı tampon yapısı oluşturulmuştur. Şablon ürün ağacı kullanılarak, 40 nihai ürün, 83 bileşen ve 23 iş istasyonundan oluşan bir üretim ortamı düşünülmüştür. Çalışma ürün çeşitliliği ve iş istasyonlarının çokluğu bakımından önceki çalışmalardan ayrılmaktadır. Ortalama eldeki stok seviyesi ile temin süresini performans göstergesi olarak kullanan çalışma, DDMRP kullanımı ile gerçekleşen temin süresinde planlanana göre %41 azalma sağlanmıştır. Çalışma ardışık üç seviye boyunca bir üründe tampon olmadan DDMRP ile çalışma yapılabileceğini belirtmektedir. Yazarlar, DDMRP'nin planlamacıların sübjektif kararlarına bıraktığı tampon konumlandırma ile tedarik süresi ve değişkenlik faktörlerinin seçiminin DDMRP performansına etkilerinin incelenmesini gelecek çalışma olarak işaret ederler.

Bayard vd. (2021) tampon konumlandırmanın DDMRP performansına etkilerini, tek nihai ürünün olduğu 10 parça ve 4 seviyeden oluşan ürün ağacı kullanarak simülasyon ortamında incelemişlerdir. Çalışmada ürün ağacı üzerinde son ürün, ara ürün ve satın alınan ürünler ile bunların farklı bileşimlerini içeren 7 farklı tampon konumlandırma alternatifini incelenmiştir. Bu kısmıyla çalışma Acosta ve diğerlerinin (2020) çalışmasına benzerlik göstermektedir, ancak burada ürün ve bileşen sayısı daha azdır. Müşteri, tedarikçi ve süreç değişkenlikleri altında tam zamanında dağıtım (TZD) ve stok maliyeti performans kriteri olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada tüm değişkenlik durumlarına göre en iyi TZD ve düşük stok maliyeti veren ideal bir yapının olamayacağı vurgulanmaktadır. En iyi TZD'yi nihai ürün, alt montaj ve satına alınan ürünlerin tamamında tampon konumlandırma verirken, doğal olarak bu seçim yüksek stok maliyetini de beraberinde getirmektedir. Yazarlar, stok konumlandırmanın DDMRP performansına olan etkilerinin farklı ürün yapısı ve karmaşıklıktaki ürün ağaçlarında denenerek doğrulanmasını gelecek araştırma olarak önermektedirler.

2.1.3 DDMRP parametrelerinin ayarlanması çalışmaları

Miclo (2016) tezinde benzetimli tavlama (simulated annealing) algoritmasını kullanarak TZD'yi maksimize ederken İş sermayesini minimize etmeyi hedefleyen bir amaç

fonksiyonuyla DDMRP tampon boyutuna etki eden üç parametreyi (ATS, TSF ve DF) belirlemeye çalışır. Çalışmada uzman görüşü alınarak belirlenen stok konumlandırması sezgisel algoritma ile diğer parametrelerin belirlenmesinde değiştirilmeden kullanılmaktadır. Bu yönüyle stok konumlandırmanın parametrelere ve performans göstergelerine yapacağı etki göz ardı edilmektedir. Ayrıca buluşsal algoritma ile ayarlanması hedeflenen ATS, TSF ve DF parametrelerinden ziyade TZD ve Ort. çevrimiçi stok performans göstergeleri raporlanmaktadır. ATS, TSF ve DF parametrelerinden hangilerinin hangi seviyelerde performansa etki ettiği sorusu cevapsız kalmaktadır.

Martin ve diğerleri (2019), DDS&OP sürecinde güncellenecek DDMRP parametrelerini saptarlar. Her parametre için bir dizi kurallar ve ilgili aksiyonlarından oluşan kural tabanlı bir karar destek sistemi önerirler. Çalışma ile DDAE (Demand Driven Adaptive Enterprise – Talep Tabanlı Adaptif Firma) yaklaşımının taktik seviyesine ilişkin karar alıcıları, parametrelerin nasıl ve ne zaman güncelleneceği konusunda destekleyecek bir uzman sistem tasarlanmaktadır.

Martin (2020) doktora tezinde DDS&OP karar alıcıları, etkili ve dinamik parametre ayarlamasını nasıl yapabilir sorusunu çalışmasının merkezine almaktadır. Martin ve diğerlerinin (2019) oluşturdukları kural tabanlı sistem, deney tasarımı ile simülasyon ortamında incelenir. Akış tipi bir atölyede yükleme ve talep faktörleri ile parça gruplama (profil), OGS, ATS ve TS katsayı faktörlerinin farklı seviyeleri istatistiksel analiz ile değerlendirilir. Çalışma, dinamik parametre kontrolünün talep değişkenliğinin yüksek olduğu durumlar için uygun olduğunu, ancak birçok durum için sabit tutulabileceğini ifade eder. Ayrıca profil kullanarak gruplama yapmanın performans üzerinde etkisi olmadığını göstermektedir. Bu durum ele alınan vaka çalışmasının ürün ve makine sayısı bakımından sınırlı olmasına bağlı olabileceği değerlendirildiğinden, daha kompleks vaka çalışmalarının yapılması işaret edilmektedir.

Martin, Lauras ve Baptiste (2023) oluşturdukları deney tasarımı ile tampon boyutlandırma politikalarını simülasyon ortamında değerlendirirler. Çalışmanın deney tasarımında atölye yapısı (akış tipinde A, V, O) ve darboğaz seviyeleri (%50, %80 ve %95) blok faktörler olarak ele alınmıştır. Üç farklı seviyeden oluşan OGK ve ATS

güncelleme faktörlerini blok faktörleri ile kullanarak tampon boyutlandırma politikalarını simülasyon ortamında değerlendirirler. Yazarlar, tamamen dinamik güncelleme (kontrol) yaparak her zaman en iyi performansın sağlanamadığını ve bazı durumlarda tampon boyutlarını değiştirmeden sabit tutmanın daha iyi performans sağladığını işaret ederler. DDMRP tamponlarının değişimlere uyum sağlayarak en iyi performansı göstermediği durumların varlığı çalışmanın önemli ve üzerinde araştırılması gereken bir sonucudur.

Dessevre ve diğerleri (2019), değişken temin sürelerinin olduğu akış tipi sonlu kapasite bir atölyede DDMRP bakışıyla ATS'yi dinamik olarak nasıl kontrol edebileceklerini incelerler. Simülasyon ortamında deney tasarımı yaklaşımıyla yapılan çalışma ile ATS dinamik kontrolü stok seviyelerinde düşüş sağlarken, makinelerin yüklenme oranındaki artışın kontrol edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Aksi takdirde dinamik kontrol ile artan yüklenme nedeniyle temin süreleri aşırı artmaktadır. Çalışma operatör sayısını kapasite kısıtı olarak kullanmakta ve TSF = 0.75 olarak çalışma süresince sabit kalmaktadır.

Damand ve diğerleri (2022), DDMRP tampon boyutlandırmaya etki eden sekiz parametreyi (EKSM, TSF, DF, sipariş çevrim süresi, OGK geçmiş ve gelecek ufku, sipariş sıçrama eşiği ve ufku) çok amaçlı optimizasyon problemi olarak tanımlar ve NSGA-II algoritması ile çözümünü sunarlar. Modelin amaç fonksiyonu TZD'yi maksimize ederken, ortalama stok miktarını minimize etmektedir. Talep miktarı ve talep sıçramaları (spike) ile oluşturdukları 60 farklı senaryo ile yukarıdaki amaç fonksiyon için çözümler pareto optimal cepheler olarak verilir. Yazarlar geçmiş veya tahmin verileri ile modelin karar vericiler tarafından kullanılmasını önerirler. Çalışma deterministik olması yönüyle kısıtlayıcıdır.

Azzamouri ve diğerleri (2022), DDMRP yapısında yeniden sipariş verme işleminin sürekli ve periyodik aralıklarla kontrol edilmesi durumunu incelerler. Simülasyon ortamında akış tipi atölye yapısında sabit OGK'ye sahip 40 ürünü üç farklı talep yapısı altında gruplandırdıkları çalışmanın deney tasarımında iki faktörü esas alırlar. İlk faktör 1, 2, 4 ve 5 günde bir seviyelerinden oluşan periyot sıklığıdır. İkinci faktör ise her periyot sıklığı seviyesinde gözden geçirilecek ürünleri belirler. Senaryo olarak adlandırılan ikinci faktör; tek seferde tamamı, iki grup ve periyot süresine eşit dağılmış sayıda olmak üzere

üç seviyeden oluşur. Çalışmada, sürekli gözden geçirme, aralıklı gelen (talepler arası süre ATS'ye eş veya büyük) büyük talepler için daha uygun iken, daha sık ve küçük taleplere sahip ürünler için periyodik gözden geçirme daha uygun olarak belirtilmektedir. Periyodik gözden geçirmede toplam stok daha az oluşurken, en iyi hizmet düzeyi performansını her iki faktör ve seviyeleri için sürekli gözden geçirme sağlamaktadır. Bu çalışma ürünleri talep yapısına göre gruplandırarak deney tasarımı altında incelemesi bakımından özellik arz etmektedir. Bizim çalışmamızda ürünler ABC bazlı gruplandırılmakta ve talep yapısı ayrı bir faktör (XYZ değişkenliği) olarak akış tipi atölye ortamında ele alınmaktadır.

2.1.4 SKU sınıflandırmaları

Çok sayıda SKU'nun yer aldığı işletmelerde SKU'ların ürün karakteristiklerindeki değişkenlik, üretim ve stok politikalarının belirlenmesinde farklı yaklaşımları gerekli kılmaktadır. Ürünlerin maliyeti, kullanım oranı, kritikliği, talep sıklığı ve değişkenliği gibi özellikleri göz önüne alınarak sınıflandırmalar yapılmaktadır.

Van Kampen vd., (2012) yapmış oldukları literatür çalışması ile SKU sınıflandırmasına ilişkin kavramsal bir çerçeve sunmaktadırlar. Sınıflandırmanın amacı, geçerli olduğu endüstriyel ortam özellikleri ve kullanılan sınıflandırma metodu SKU sınıflandırılmasında önemli etkenlerdir. SKU sınıflandırması envanter yönetimi, tahmin yapma ve üretim stratejilerinin belirlenmesi amaçlarıyla yapılmaktadır. Yazarlar, SKU sınıflandırmasında kullanılan karakteristik özellikleri hacim, ürün, müşteri ve zaman olarak dört başlık altında genellemektedirler.

Kullanılan yöntemler arasında ABC analizi, VED (Vital, Essential, Desirable) analizi ve FNS (Fast, Normal, Slow moving) analizleri kullanımda ve literatürde yaygınlık göstermektedirler. ABC analizi SKU'ları talep hacmi ve birim fiyatın çarpımından oluşan talep değeri bazında sıralayıp gruplarken, FNS analizi belirli bir periyotta oluşan talep hacmini esas alarak SKU'ları Hızlı (F), Normal (N) ve Yavaş (S) olarak sınıflandırır. (van Kampen, Akkerman, ve van Donk, 2012; Aktepe vd., 2018; Aktunc vd., 2019; Shenoy ve Rosas, 2018).

VED analizi yöneticilerin uzman görüşleri doğrultusunda bir SKU'nun kritiklik seviyesini belirlemede kullanılır. Yokluğunda telafisi zor ve ciddi kayıplara yol açabilecek olanlar Mecburi (V), yıkıcı olmayan fırsat maliyetleri oluşturanlar Esas (E) ve eksiklik maliyeti oldukça düşük olması nedeniyle tilere edilebilir olanlar İstenen (D) olarak sınıflandırılırlar. (Vrat, 2014, s. 43; Shenoy ve Rosas, 2018, s. 219).

Geleneksel ABC analizi mevcut durumu yansıtan statik yapısı ve sadece üç kategori sınıfı sunuyor olmasıyla sınıflandırmadan bekleneni istenen düzeyde her zaman karşılamayabilmektedir (Ng, 2007; Pandya ve Hemant, 2016; Kourentzes, 2016; Ramanathan, 2006). Bu nedenle ABC analizini geliştiren ve tamamlayan yöntemler uygulamada ve literatürde yer almaktadır (van Kampen vd., 2012). Flores ve Whybark (1986) ile iki kriterli olarak başlayan çok kriterli stok sınıflandırması (ÇKSS) kapsamında literatürde; stok maliyeti, temin süresi, parça kritikliği, ortak kullanılabilme, talep frekansı, sipariş büyüklüğü, talep dağılımı, stoksuzluk maliyeti vb. birçok kriter ABC analizi ile veya tek başına kullanılmaktadır (Ramanathan, 2006). Literatürde ÇKSS modelleri ile ABC sınıflandırması yaygın olarak matematiksel programlama, meta-sezgisel, yapa zekâ ve çok kriterli karar verme yöntemleriyle yapılmaktadır (Kaabi vd., 2018).

ABC analizi malzeme yönetiminde çok sayıdaki parametre ve kullanımı için temel teşkil etmesi bakımından değerlidir. Burada özellikle üretim ortamında kullanımı açısından her ürün tipi için farklı ABC sınıflandırmasının kullanılmasına dikkat edilmelidir. Çünkü her ürün tipi, örneğin son ürünler, bileşenler, satın alınanlar vb. farklı öneme sahip olacağından bunlar kendi içinde ayrıca değerlendirilmelidir (Schönsleben, 2016, s. 457).

2.1.5 Çalışmanın konumlandırılması ve katkısı

İncelen literatür kaynakları DDMRP'nin farklı ve kompleks ortamlara uyumunun değerlendirilmesi için daha fazla araştırmanın gerekli olduğunu belirtmektedir (Azzamouri vd., 2021). Ürün çeşitliliği ve karmaşık ürün ağacı üzerindeki performansının görülmesi, parametrelerinin ayarlanması ve duyarlılıklarının incelenmesi konuları özellikle vurgulamaktadır (Velasco-Acosta vd.,2020; Bayard vd., 2021).

DDMPR parametrelerinin ayarlanması kapsamında; DDMRP tampon boyutlandırma temel parametreleri olarak ATS, OGK, TS ve Değişkenlik faktörlerinin (TSF ve DF) yanı sıra, sipariş çevrim süresi, EKSM, OGK hesaplaması geçmiş ve gelecek ufku, sipariş sıçrama eşiği ve ufku gibi faktörler çalışmalarda yer almaktadır. Bu çalışmada tampon, yani stok büyüklüğüne etki eden ve subjektif olarak planlamacılara bırakılan TSF ve DF parametreleri ele alınmaktadır. OGK ve ATS çalışmada, sırasıyla talep ve stok konumuna dayalı olarak hesaplanmaktadır.

DDMRP ile ilgili sistematik literatür tarama çalışmalarının (Azzamouri vd., 2021) da ifade ettiği gibi, DDMRP'nin karmaşık ürün yapısı ve üretim ortamlarındaki davranış ve performansı çalışmaların yönünü göstermektedir. Stokların konumu ve boyutları performansı etkileyen iki temel yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu iki problemin matematiksel yapıları oluşturulacak modellerin karmaşıklığını artırırken takip edilebilirliğini de azaltmaktadır. Dolayısıyla, bu ikisinin etkileşimlerinin anlaşılmasına katkı sağlayacak çalışmalar ayrıca gereklidir.

Tezde ele alınan çalışma, DDMRP özelinde denenmemiş ABC ve XYZ sınıflandırma yöntemleri ile tampon konumu ve boyutlandırma parametrelerinin etkileşimlerinin belirlenmesi bakımıyla yeni ve orijinal bir çalışmadır. Tampon boyutuna etki eden iki faktörün, TSF ve DF, talep ve operasyonel arz değişkenliği altında ABC-XYZ grupları bazında belirlenmesi sağlanacak esas katkı olacaktır. İkinci katkımız, yürütmede DDMRP'nin kritik tampon düzeylerini esas alan önceliklendirme bakışının ABC bazlı önceliklendirme ile geliştirilmesi; DDMRP ve ABC bazlı önceliklendirmenin, kalan teslim zamanını esas alan klasik önceliklendirme yöntemi ile karmaşık ürün ağacında değerlendirilmesidir. Bir diğer katkımız ise, göreceli olarak karmaşık bir ürün ağacında farklı ürün gruplarında (son ürünler, son + montaj ürünler ve son ürün + satın alınan ürünler) tampon bulundurmanın ABC-XYZ bazlı parametre grupları ile performans bağının incelenmesi olacaktır.

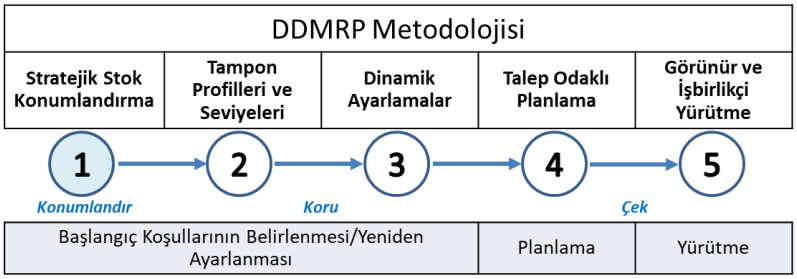
2.2 DDMRP - Talep Odaklı Malzeme İhtiyaçları Planlaması (TOMİP)

2.2.1 Tanımı ve ortaya çıkışı

Hızla gelişen ve değişen dünyada; ürün çeşit ve değişkenliğinin arttığı, müşteri bekleme sürelerinin kısaldığı ve çok yönlü uygulama ve kuralların şekillendirdiği karmaşık tedarik zincirlerinin olduğu "Yeni Normal" geleneksel üretim planlama ve kontrol (ÜPK) metotlarını gözden geçirmeyi zorunlu kılmıştır. Bu bakış açısıyla Ptak ve Smith (2016), bu zorlukları göz önüne alan, akıllıca oluşturulmuş, anlaşılması ve kullanılması kolay alternatif planlama kuralları içeren DDMRP metodolojisini geliştirmişlerdir. DDMRP, "*amacına uygun bilgi ve malzemenin akışını korumak ve düzenlemek için stratejik olarak konumlandırılmış ayrıştırma noktalarında (Decoupling Point) tampon stokları oluşturan ve yöneten çok aşamalı resmi bir planlama ve yürütme metodudur.*" (Ptak ve Smith, 2016, s.78). Oluşturulan yeni metodoloji, MRP ve Dağıtım Gereksinimleri Planlamanın (DRP) uygun tarafları ile TOC ve Yalın üretimin çekme ve görünürlük vurgusu ve Altı Sigma'nın değişkenlik azaltma vurgusunu yenilikçi bir şekilde birleştirmiştir.

DDMRP, günümüz VUCA dünyasının üretim ve tedarik zinciri ortamında MRP'nin tasarım olarak yetersiz kalacağı düşüncesine dayanarak daha uygun bir ÜPK oluşturmayı hedeflemiştir. Bu kapsamda ilk olarak, MRP'nin yetersizliklerine çözüm getiren bir yaklaşım olan "Etkin Senkronize İkmal" (ASR - Actively Synchronized Replenishment) adıyla esasları oluşturulmuştur (Ptak ve Smith, 2008). ASR daha sonra esasları geliştirilerek "Talep Odaklı Malzeme İhtiyaçları Planlaması" (DDMRP - Demand Driven Materials Requirement Planning) olarak bugünkü ismini almıştır (Ptak ve Smith, 2011). Son olarak Ptak ve Smith tarafından 2016 yılında daha bütüncül ve formal ÜPK yaklaşımı olarak esasları ortaya konulmuştur (Ptak ve Smith, 2016).

Ptak ve Smith (2016), DDMRP'yi geleneksel MRP'ye ait zayıf yanları giderecek şekilde tasarlamışlardır. Sistemde bilgi ve malzeme akışının bozulmadan ve engellenmeden sürdürülmesi gözetilir. Bunun için DDMRP beş ana bileşenden oluşan bir tasarıma sahiptir (Şekil 1). İlk üç bileşen DDMRP modelinin başlangıç konfigürasyonu ve gelişen duruma göre yeniden ayarlamaları içerir. Dördüncü ve beşinci adımlar ise üretime yönelik planlama ve yürütme safhalarını içerir.



Şekil 1. DDMRP Kurulumu Ana Bileşenleri (Ptak ve Smith, 2016'dan uyarlanmıştır)

DDMRP, malzeme akışı ve bilgisinin bozulmadan sağlanmasında beş ana bileşen (Ptak ve Smith, 2011, s. 389) kullanır. "Konumlandır", "koru" ve "çek" prensipleri çevresinde oluşturulan bu beş ana bileşen şunlardır:

- Stratejik Stok Konumlandırma: "Ne kadar" stoktan ziyade "nerede" stok tutulmalı sorusu önemlidir. Tedarik zincirinin talep dalgalanmalarından ve tedarik değişkenliklerinden korunması gerekir. Bu maksatla ilk olarak ürün yapısı ve TZ içerisinde ayrıştırma (decoupling) noktası tamponlarının hangi stratejik noktalarda konumlanacağını belirlenir.

- Tampon Profilleri ve Seviyeleri: Tamponların konumlandırılmasından sonra, üretilen, satın alınan ve dağıtılan kalemler için tampon profilleri ve hedef (stok) seviyeleri belirlenir. Tampon seviyeleri, Ortalama Günlük Kullanım (OGK) (ADU – Average Daily Usage), değişkenlik ve ayrıştırılmış tedarik süresi gibi farklı faktörler göz önüne alınarak hesaplanır. Böylece tampon noktalarının değişkenliklere karşı koruma seviyeleri oluşturulur.

- Dinamik Ayarlar: Başlangıç seviyeleri belirlenen tamponlar, daha sonra iç ve dış değişimlerin gerektirdiği seviyeleri sağlamaları için ayarlanırlar. Böylece tamponlar planlanan korumayı değişen dinamik koşullara göre sürdürebilirler.

- Talep Odaklı Planlama: Önceki adımlarda oluşturulan yapı kullanılarak malzeme akışının planlanması sağlanır. DDMRP, bu maksatla tedarik siparişleri (emirleri) oluşturmak için planlamada, kendisinin etkili ve sezgisel hesaplama mantığını kullanır.

- Görünür ve İşbirlikçi Yürütme: Bu süreçte DDMRP, malzeme akışının korunması ve desteklenmesi amacıyla, işlem görmeyi bekleyen açık tedarik siparişlerini yönetir.

Yürütme ufku süresince bu tedarik siparişleri meydana gelebilecek değişikliklerle etkin bir şekilde senkronize edilirler. Parçaların tamponlardaki durumuna göre ikazlar oluşturulur.

2.2.2 Stratejik stok konumlandırma

Ptak ve Smith (2016), DDMRP stratejik tamponlarının konumlandırılmasını, Talep Odaklı İşletme Modelinin temel taşı olarak görür. Çünkü verilecek bu stratejik karar, hizmet düzeyi, işletme sermayesi, hızlandırma maliyetleri, nakit akışı ve yatırım geri dönüşü gibi birçok konuda tedarik zincir performansı üzerinde oldukça etkili olacaktır. DDMRP, "nerede ayrıştıralım" sorusuna uygun cevap vermek için altı ana faktörü göz önüne alarak Stratejik Stok konumlandırmasını yapmaktadır:

- Müşteri Tolerans Süresi: Potansiyel müşterilerin ürün veya hizmetin kendilerine teslimatına kadar bekleyebilecekleri (ya da başkasını tercih edecekleri) süre.
- Pazarın Prim Verdiği Tedarik Süresi: Bu süre, pazarda rekabet avantajı sağlayacak olasılıkları değerlendirmeye yardımcı olur.
- Satış Siparişi Görünürlük Ufku: Satış siparişlerinin veya bağımlı talebin öğrenildiği zaman sınırı.
- Dış Değişkenlik: Tedarik ve talep değişkenlikleri değerlendirilir.
- Stoklama Avantajı ve Esnekliği: Tedarik ve dağıtım yapısı göz önüne alınır. Ürün ağacı veya dağıtım ağında tedarik sürelerinin sıkılaştırılmasında ve konum olarak avantaj sağlayan satın alınan ürünler, alt montajlar ve ara parçaların belirlenmesi gerekir. Ürün ağacı derinleştikçe ortak kullanılan parça ve malzemelerin önemi artar.
- Kritik Operasyonların Korunması: Üretimdeki rotalama yapıları ve birbirine bağımlı olayların incelenmesi, bir noktada ayrışan veya birleşen yapıların belirlenmesi kritik operasyonlara ışık tutar. (Ptak ve Smith, 2011, s. 392)

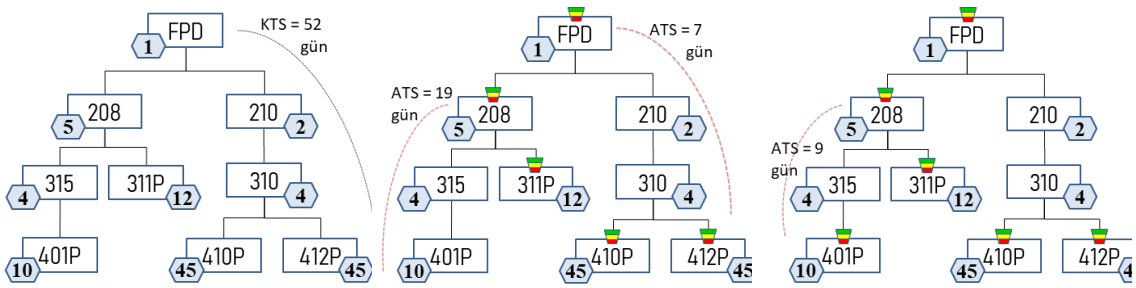
DDMRP, yukarıdaki faktörleri sistematik olarak değerlendirerek ürün ağacında veya TZ yapısında hangi noktalarda stratejik stok konumlandıracağına karar verir. Stok konumlandırılan bu stratejik noktalar, DDMRP mantığında "ayrıştırma noktaları" (decoupling points) olarak geçer ve buradaki stoklar, "ayrıştırma noktaları stoku" veya

kısaca “tampon” (buffer) olarak adlandırılırlar. DDMRP, ayrıştırma noktalarını, literatürde (Bölüm 3.4.1) var olan tanım ve amacı ile aynı doğrultuda kullanır. Tamponlar ayrıştırma noktalarını koruyan stoklardır. Tedarik ve talep değişkenliklerini azaltması, tedarik sürelerini sıkıştırması ve tedarik siparişleri oluşturması yönleriyle de DDMRP’nin merkezinde yer alırlar (Ptak ve Smith, 2016, s. 65).

2.2.2.1 Tedarik süresinin farklı kullanımı - Ayrıştırılmış tedarik süresi (ATS)

DDMRP, ayrıştırma noktalarının kullanımı ile ilişkilendirerek, üretim tedarik süresi ve kümülatif tedarik süresi tanımlarına ilave yeni bir tedarik süresi kavramı getirir. DDMRP, ürün ağacı içerisinde korunmamış, yani tampon içermeyen, en uzun tedarik süresini Ayrıştırılmış Tedarik Süresi (ATS) (decoupling lead time) olarak tanımlar. Çünkü ayrıştırma noktalarının kullanıldığı durumlarda tedarik süresi; kümülatif tedarik süresince aşırı fazla, üretim tedarik süresince de eksik olarak tahmin edilecektir. Bu nedenle DDMRP, daha gerçekçi olması ve tampon hesaplamalarında daha doğru kullanım sağlaması nedeniyle ATS’yi tanımlamıştır (Ptak ve Smith, 2016, s. 95).

Yeni tanımlanan ATS; (1) tampon stok seviyelerinin doğru oluşturulması, (2) tedarik sürelerinin sıkıştırılması, (3) stokun en iyi kullanım yerinin saptanması ve (4) gerçekçi teslim sürelerinin kararlaştırılması bakımından önemlidir (Ptak ve Smith, 2011, s. 392). Bu nedenle aşağıda Şekil 2’deki FPD son ürününe ait örnek ürün ağacı üzerinde ATS incelenmiştir. Şekilde her kutunun yanındaki rakamlar ilgili ürün/kalem için tedarik süresini göstermektedir.



Şekil 2. Ayrıştırılmış tedarik süresi (Ptak ve Smith, 2016'dan uyarlanmıştır)

Şekil 2 (a)'da FPD için kümülatif tedarik süresi 52 gündür (45+4+2+1). Şekil 2 (b)'de stratejik tamponların uygun yerleştirildiği varsayılarak FPD için ayrıştırılmış tedarik süresi ATS = 7 gündür. Çünkü kendisinden itibaren zamansal olarak en uzun korunmamış hat FPD-210-320 (1+2+4 = 7 gün) olacaktır. Aynı şekilde ara ürün 208 için ATS = 19 gün olarak hesaplanır. Şekil 2 (c)'de ilave olarak 401P'de konumlandırılmış bir tampon bulunmaktadır. Bu durumda 208 için yeni ATS = 9 gün olacaktır. 401P'ye eklenen tampon ATS'yi 19 günden 9 güne sıkıştırmıştır. Gerçekte bu kararın verilmesi maliyet hesaplarını da içeren stratejik bir karar olacaktır (Ptak ve Smith, 2016) .

2.2.3 Tampon profilleri ve seviyeleri

DDMRP'nin ikinci adımı, önceki bölümde stratejik olarak yerleştirilen tamponların ne kadar koruma sağlayacaklarını, yani boyutlarını tespit etmektir. Çünkü doğru konumda ve boyuttaki stok kendisinden beklenen korumayı etkin olarak sağlayacaktır. Öncelikle DDMRP'de stratejik, yani kritik olduğu düşünülerek stoğunun tutulmasına karar verilen parçaların (1) ikmal edilen, (2) manuel kontrollü ikmal edilen ve (3) min-max kategorilerine sokulmasıyla farklılaşan tampon oluşturma yöntemlerine bakalım:

- İkmal edilen parçalar: stratejik olarak seçilen, planlama ve yürütmesi üç bölgeli tampon ile yapılan parçalardır. Bu parçaların tamponları dinamik olarak güncellenirler. DDMRP'de en çok kullanılan tamponlardır.
- Manuel kontrollü ikmal edilen parçalar: İkmal edilen parça ve tamponları ile aynı yapıya sahiptir, ancak tampon boyutları önceden tanımlıdır ve statiktir. Genellikle planlama koşullarının gerektirdiği kısıtlar tamponu belirler.
- Min-Maks parçalar: Çoğunlukla elde bulunan, daha az kritik olan stoklu parçalardır. İki bölgeli tampon sistemi ile yönetilir, ikmal edilen parçalar gibi dinamik olarak güncellenirler. (Ptak ve Smith, 2011, s. 436)

Yukarıda tasnifi yapılan dışında kalan parçalar stoklanmayan, yani tamponu olmayan parçalardır. Şekil 3'te genel hesaplama yöntemi verilen tampon yapısı ikmal edilen parçalar içindir. Diğer tamponların (min-maks ve manuel kontrollü ikmal edilen) bölge hesaplamaları bu tampon esasları ile hesaplanabilmektedir. Tez genelinde farklı bir DDMRP tampon yapısı gerekmedikçe bu tampon hesaplaması kullanılacaktır.

DDMRP tampon profil ve seviyeleri oluştururken Tablo 4'te gösterilen profil faktörleri ve parça özellik parametrelerini kullanır. Parça özellikleri belirlenen kalemler profil faktörlerine göre 36 profil grubundan birisine ayrılırlar. Bundan sonra parça özellikleri ve tampon profilleri kullanılarak DDMRP tamponları oluşturulur (Şekil 3). DDMRP, "üretilen" parça tipini sadece son ürünler için kullanır. Diğer üretilen ürün ağacı parçaları "ara" parça olarak gruplandırılmaktadır.

Tablo 4. Tampon profil faktörleri ve parça özellik parametreleri (Ptak ve Smith, 2016'dan uyarlanmıştır)

<table>
<tr><th>Parça Özellikleri</th><th colspan="2">Profil Faktörleri</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1. Tedarik Süresi/Ayrıştırılmış Tedarik Süresi (ATS)
2. Ortalama Günlük Kullanım (OGK)
3. En Küçük Sipariş Miktarı (EKSM)
4. Lokasyon</td><td>1. Parça Tipi</td><td>Üretilen (Ü), Satın alınan (S), Dağıtılan (D), Ara parça (A)</td></tr>
<tr><td>2. Tedarik Süresi Kategorisi</td><td>Kısa (K), Orta (O), Uzun (U) tedarik süresi</td></tr>
<tr><td>3. Değişkenlik Kategorisi</td><td>Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y) değişkenlik</td></tr>
<tr><td colspan="3">Profile grup sayısı = (3 parça tipi) x (3 TS Kategorisi) x (3 Dğş. Kategorisi) = 36 farklı profil yapısı</td></tr>
</table>

Tampon boyutunun hesaplanmasında kullanılan parça özellikleri için şu huşulara dikkat edilir:

- Tedarik Süresi: Kullanılan tedarik süresi üretilen ürün ve ara parçalar için ATS, dağıtılan ve satın alınan parçalar için de sırasıyla taşıma ve satın alma tedarik süreleri olacaktır.
- Ortalama Günlük Kullanım (OGK): İlgili parçanın hesaplanmış kullanım oranıdır. OGK'daki ciddi değişiklikler tampona boyutuna aynı şekilde etki eder. OGK'nın hesaplandığı dönemin uzunluğu dikkatli seçilmelidir. hesabının yapılacağı sürenin uzun veya kısa olması.
- En Küçük Sipariş Miktarı (EKSM): Sipariş politikası olarak kullanıldığında tampon boyutunu etkiler. Özellikle OGK'ya göre oldukça büyük belirlendiklerinde dikkatli analiz edilerek kullanılmalıdır. OGK güncellemeleri kısa aralıklarla yapılmalı, ortalamaları etkileyecek anormallikler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Lokasyon: Dağıtılan parçalar için TZ ağında kullanıldıkları her lokasyon özelinde ayrı bir OGK ve TS esas alınır. (Ptak ve Smith, 2016)



Yeşil Bölge =
Max { Sarı Bölge x TSF,
En Küçük Sipariş Miktarı }
veya varsa;
(zorunlu olarak) İstenen Çevrim Süresi x OGK }

YBT = SBT + Yeşil Bölge

Sarı Bölge = OGK x ATS

SBT = KBT + Kırmızı Bölge

Kırmızı Baz = Sarı Bölge x TSF*
Kırmızı Emniyet = Kırmızı Baz x DF

Kırmızı Bölge = Kırmızı Baz + Kırmızı Emniyet

KBT = Kırmızı Bölge

OGK : Ortalama Günlük Kullanım TSF: Tedarik Süresi Faktörü
ATS : Ayrıştırılmış Tedarik Süresi DF: Değişkenlik Faktörü
* Yeşil Bölge ile Kırmızı Baz TSF değerleri farklı alınabilir

Şekil 3. DDMRP tampon yapısı ve boyutu hesaplama yöntemi (Ptak ve Smith, 2016)

DDMRP tamponları, farklı kullanım amaçları taşıyan üç ana bölgeden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla yeşil, sarı ve kırmızı bölgelerdir. Yeşil bölge tampona tedarik siparişi oluşturma özelliğini ekleyen yapıdır. Sipariş oluşturma sıklığı ve her siparişi için minimum büyüklüğü belirler. Sarı bölge, tamponun yeterli stoğu kapsamasını temin eder. Son olarak da kırmızı bölge tamponda emniyet unsuru olarak yer alır. Kırmızı bölge, kırmız baz ve kırmızı emniyet olarak adlandırılan iki kısmın toplamından oluşur. Kırmızı baz zaman nedeniyle oluşacak durumlara karşı koruma sağlarken, kırmızı emniyet aynı zaman çerçevesinde oluşabilecek talep ve tedarik değişkenliklerine karşı emniyet görevi görecektir. Şekil 3'de söz konusu bölgeler ve her birinin nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Bölgelerin toplamı ilgili tamponun sağlayacağı koruma seviyesini, yani boyutunu oluşturur. Tampon boyutu, tampon seviyesi veya yeşil bölgenin tepesi (YBT) olarak da adlandırılmaktadır (Ptak ve Smith, 2011, s. 414).

Tampon boyutu veya YBT = kırmızı bölge + sarı bölge + yeşil bölge (2.1)

2.2.3.1 Tedarik süresi ve değişkenlik faktörleri aralıkları

Profil faktörlerinde kullanılan iki değişkenlik kategorisi için, Miclo (2016) tarafından da vurgulandığı üzere DDMRP matematiksel bir formül vermemiştir. Bunun yerine, tedarik süresi kategorisi ile değişkenlik kategorisi için sırasıyla tedarik süresi ve değişkenlik faktörlerinin parça tipi ve TZ ortamı özelliklerine göre tecrübi olarak seçilebileceği faktör aralıkları tanımlanmıştır. Kullanılan faktör aralıkları ve profil faktörleri ile ilişkisi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. DDMRP Tedarik Süresi ve Değişkenlik Faktör Aralıkları (Ptak ve Smith, 2016)

Tedarik Süresi Kategorisi	Tedarik Süresi Faktör Aralığı	Değişkenlik Kategorisi	Değişkenlik Faktörü
Uzun tedarik süresi (U)	0.20 - 0.40	Yüksek Değişkenlik (Y)	0.61 - 1.00
Orta tedarik süresi (O)	0.41 - 0.60	Orta Değişkenlik (O)	0.41 - 0.60
Kısa tedarik süresi (K)	0.61 - 1.00	Düşük Değişkenlik (D)	0.00 - 0.40
(Yeşil Bölge ve Kırmızı Baz hesaplamaları için)		(Kırmızı Emniyet hesaplamaları için)	

Ptak ve Smith (2016) tedarik süresi kategorisinin uzun, orta ve kısa olarak belirlenmesini tamamen satın alma personelinin öngörüsüne bırakır. Talep ve tedarik değişkenlik kategorilerinin belirlenmesi için de basit buluşsal bir yaklaşım önerirler. Burada parçaların talep ve tedarik değişkenlikleri (kategorileri değil) matematiksel olarak her bir parçanın değişim katsayısı (standart sapma/ortalama) istatistiği kullanılarak hesaplanabilir. Bu istatistik benzer gruptaki parçalar ile karşılaştırılabilir. Ancak bu durumda da değişkenlik kategorilerini oluşturacak sınırların ayrıca belirlenmesi gerekecektir. Bu nedenle yazarlar, basit buluşsal yaklaşımla parçaların talep ve tedarik değişkenlik kategorilerinin belirlenmesini şu şekilde önerirler:

Talep değişkenliği kategorisi: parçanın talebi tedarik süresi içerisinde (1) sıklıkla aşırı sıçramalar görüyorsa yüksek, (2) ara sıra sıçramalar varsa orta ve (3) sıçramalar yok ve düzgün ise düşük değişkenlik kategorisi.

Tedarik değişkenliği kategorisi: parça veya hammaddenin tedarikinde (1) sık kesintiler oluyorsa yüksek, (2) ara sıra kesintiler oluyorsa orta ve (3) kesinti olmadan güvenilir ve düzgün bir akış varsa düşük değişkenlik kategorisi.

Son olarak tedarik süresi uzadıkça tedarik süresi faktörünün küçüldüğünü (Tablo 5) ayrıca vurgulamak gerekir. DDMRP tamponunda yeşil bölge ortalama sipariş büyüklüğüne karşılık germektedir. Tedarik süresi faktörü ufaldıkça yeşil bölge daha küçük boyutta hesaplanacağından sonuçta daha küçük sipariş miktarlarını daha sık yapan bir tampon yapısı ortaya çıkacaktır. Bu DDMRP'nin (en küçük sipariş miktarı veya zorunlu sipariş çevrim süresi gibi) bir kısıtla karşılaşana kadar desteklediği yaklaşımdır (Ptak ve Smith, 2011, s. 416).

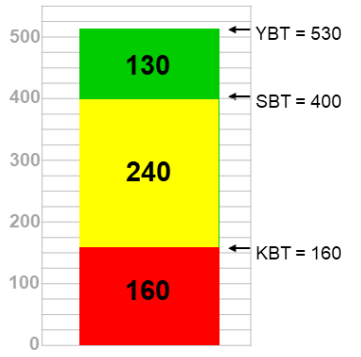
2.2.3.2 Örnek bir tampon hesabı

Parça ve profil özellikleri Tablo 6'da verilen örnek ikmal edilen parça için tampon boyutunu hesaplamaları Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 6. Örnek bir parça için tampon profili ve parça özellikleri

Özellik	Değer	Tampon Profili Açıklaması
Ortalama Günlük Kullanım (OGK)	20	Ü - üretilen parça tipi, O - orta tedarik süresi kategorisi için tedarik süresi faktörü, TSF = 0,05, D - düşük değişkenlik kategorisi için değişkenlik faktörü, DF = 0,33
Tampon Profili	Ü, O (0,5), D (0,33)	
En Küçük Sipariş Miktarı (EKSM)	130	
(İstenen Sipariş Çevrim Süresi)	9 gün	
Ayrıştırılmış Tedarik Süresi (ATS)	12 gün	

Tamponun yeşil bölge hesabında (Şekil 4) istenen çevrim süresinin 9 gün olması planlama için zorunlu olsaydı o zaman yeşil bölge 90 (9 x 10) olarak boyutlanacaktı. İstenen çevrim süresi planlamada kullanılmadığında geriye temin süresindeki kullanımın TSF ile orantılanmış miktarı ile EKSM'den büyük olanını almak kalacaktır. Bu durumda da yeşil bölge 130 (20 x 12 x 0.5) olarak hesaplanır (Şekil 4).



Sarı Bölge = 20 x 12 = 240 (1)

Yeşil Bölge = Max { (240 x 0,05), (130) } = 130 (2.a)

= (9 x 10) } = 90 (2.b)

Kırmızı Baz = 240 x 0,05 = 120 (3)

Kırmızı Emniyet = 120 x 0,33 = 40 (4)

Kırmızı Bölge = (3) + (4) = 160 (5)

KBT = 160 SBT = 160 +240 = 400 YBT = 400 + 130 = 530

YBT: Yeşil Bölgenin Tepesi SBT: Sarı Bölgenin Tepesi KBT: Kırmızı Bölgenin Tepesi

Şekil 4. Örnek parça için tampon hesabı

Yukarıdaki hesaplamalar ışığında tampon bölgeleri ile ilgili olarak şu ilişkiler kurulabilir:

- Yeşil bölgenin OGK'ya bölümü ortalama sipariş çevrimi süresini verir (13 gün).
- Kırmızı bölgenin OGK'ya bölümü tamponun kaç günlük korumaya sahip olduğunu gösterir (16 gün).
- Son olarak sarı bölgenin yeşil bölgeye bölümü herhangi bir zamandaki ortalama açık sipariş sayısı hakkında fikir verir (yaklaşık 1). Bu husus, özellikle parça ve ilişkilendirildiği profilin uyumunu analiz etmede ve de tedarik siparişlerinin zamanında verilmesi hakkında yararlı olacaktır (Ptak ve Smith, 2016).

2.2.4 Dinamik ayarlar

DDMRP'nin üçüncü bileşeni dinamik ayarladır. Günümüzün oldukça dinamik tedarik zinciri yapıları ve oynak market koşulları süratle uyun sağlanması gereken ihtiyaçlar ortaya çıkarmaktadır. DDMRP, başlangıç ayarlarını yaptığı tamponlarını bu gereksinimlere uyarlamak için dinamik ayarları kullanır.

Yeniden hesaplanan ayarlamalar (otomatik) ve planlı ayarlamalar (manuel) olarak iki ana kategoride uygulanabilir. OGK ve tedarik süresi tüm tampon hesaplamalarında kullanıldığından, bunlardaki değişiklik tampon büyüklüklerini etkileyecektir. OGK, sıklıkla yeniden hesaplandığından, sürekli değişecektir. Benzer şekilde bir tampon profil değişiklikleri de o profille ilişkilendirilmiş tüm parçalara ilişkin hesaplamaları otomatik

olarak yenileyecektir. Ptak ve Smith (2016, s.169) planlı ayarlamaları üç ana başlıkta ele almıştır. Bu başlıklar özet olarak aşağıda açıklanmıştır:

- Talep Ayarlama Faktörü (TAF): TAF, belirli bir zaman dilimi için OGK'nın; bilinen planlı bir seviyeye veya ani talep değişikliklerine karşı tedbir olarak ayarlanmasıdır. Yeni ürün, ürün sonlandırma, sezonluk ayarlamalar ve uzun süreli büyük promosyon kampanyaları için kullanılır.

- Bölge Ayarlama Faktörü: (1) Yeşil bölge ayarlaması: sipariş büyüklüğü ve sıklığı ile ilgili gereksinimler için yapılır. (2) Sarı bölge ayarlaması: TAF uygulanamayacak kadar kısa süreli promosyon gibi durumlarda veya planlı beklenen tedarik kısıntılarında uygulanabilir. (3) Kırmızı bölge ayarlaması: Bilinen veya planlı ama sürekli olmayan oynaklık durumlarında parçaları başka tampona aktarmadan mevcut tamponun korumasını geçici olarak artırmak için kullanılabilir.

- Tedarik Süresi Ayarlama Faktörü: Dağıtım ağı üzerindeki geçici kesinti ve değişiklikleri hesaba katabilmek için uygulanır.

2.2.5 Talep odaklı planlama

Talep odaklı planlama adımı DDMRP'nin, tedarik siparişlerini (satın alma, üretim ve stok transfer siparişleri) oluşturduğu basit ve sezgisel bir planlama metodudur. DDMRP, doğru miktar ve zamanda tedarik siparişi oluşturmak için Eşitlik (2.2) Net Akış Denklemini (NAD) kullanır. NAD ile elde edilen net akış pozisyonu (NAP) ilgili parçanın tamponundaki seviyesine göre tedarik siparişi oluşumunu zaman ve miktar olarak tetikler. Eğer NAP yeşil bölge içinde kalıyorsa işlem yapılmaz ancak sarı bölgede ise o zaman yeşil bölgenin tepesi ile NAP farkından oluşan miktar için bir tedarik siparişi oluşturulur (Ptak ve Smith, 2016).

Net Akış Denklemi (NAD) = Net Akış Pozisyonu (NAP) = (2.2)
Eldeki Stok + Açık Siparişler – Belirgin Satış Sipariş Talebi

DDMRP planlamasının merkezinde yer alan NAD ve sipariş oluşturma süreci aşağıda özetlenmiştir (Ptak ve Smith, 2016):

NAD hesabında kullanılan “Belirgin Satış Sipariş Talebi”; bekleyen siparişler, bugünkü siparişler ve “belirgin ani talep sıçramaları” toplamından oluşmaktadır. Burada hesaplamada kullanılan “ani talep sıçramaları” NAD’ı geleneksel sipariş oluşturma hesaplamalarından ayırmaktadır (Ptak ve Smith, 2016). DDMRP ani talep sıçramalarını şu şekilde kullanır:

- DDMRP, ani sıçramaları dikkate alabilmek için en az ayrıştırılmış tedarik süresi kadar ileriye bakmaya ihtiyaç duyar. “Sipariş Sıçrama Ufku (SSU)” olarak adlandırılan bu zaman çerçevesinde günlük bazdaki sipariş toplamı belirlenmiş bir eşiği aşıyorsa o toplam “belirgin ani sıçrama” olarak nitelendirilir.
- Söz konusu eşiği DDMRP, “Sipariş Sıçrama Eşiği (SSE)” olarak adlandırır. DDMRP, SSE tespitinde tampon kırmızı bölgenin %50’si, tampon kırmızı emniyet seviyesi veya ortalama günlük kullanımın fonksiyonu olacak bir değerin kullanılabileceğini belirtir.(Ptak ve Smith, 2011, s. 441)

Planlama öncelikleri, net akış pozisyonunun ilgili tampon yeşil bölge tepe değerinin yüzdesi olarak ifade edildiği bir yaklaşımla oluşturulur. Parçalar, elde edilen yüzdenin karşılık geldiği tampon bölgesinin rengi ve stok yüzdelerine göre sıralanarak aralarında göreceli olarak önceliklendirme yapılmış olur (Ptak ve Smith, 2011, s. 445)

2.2.5.1 Planlama için “ortalama” hesaplamaları

Ptak ve Simit (2016), DDMRP planlamasında tamponların davranış ve performanslarının değerlendirilmesi için bazı hesaplamalar ortaya koyar:

- Ortalama eldeki miktar aralığı: sağlıklı çalışan bir tamponda ortalama eldeki miktar kırmızı bölge tepesinden (KBT) itibaren yeşil bölge boyutu kadar bir aralıkta hareket eder. Yani, alt sınır KBT, üst sınırı (KBT + Yeşil Bölge) olur.

- Ortalama eldeki miktar hedef değeri**:** Kırmızı bölgeye, yeşil bölge boyutunun yarısının eklenmesi ile bulunur.

$$\text{Ortalama eldeki miktar} = \text{Kırmızı Bölge} + \text{Yeşil Bölge}/2 \quad (2.3)$$

- Ortalama açık sipariş sayısı: DDMRP tampon yapısında sarı bölgenin yeşil bölgeye bölümü ortalama açık sipariş sayısını verir.

2.2.5.2 Ayrıştırılmış patlatma (Decoupled explosion)

Tedarik siparişleri oluşturulurken ayrıştırılmış patlatmanın (decoupled explosion) ürün ağacı yapısında stratejik olarak konumlandırılmış tamponlar arasında olacağını belirtmek gerekir. Çünkü ürün ağacında iki tampon arasında patlatma olmadan, toplam gereksinimler belirlenemez. Geleneksel MRP'nin aksine, DDMRP tedarik siparişi oluşturma sürecinde patlatma, ürün ağacı üzerinde bir tampona rast geldiğinde durur. Çünkü ihtiyacı tampon karşılayacaktır. Eğer tamponun net akış denklemi tedarik siparişi oluşturursa ancak o zaman patlatma daha aşağı seviyelere aynı esaslarla gidecektir. İki tampon arasındaki ayrıştırılmış patlatma ile geleneksel MRP ürün ağacı patlatmanın aynı olacağını vurgulamak gerekir (Ptak ve Smith, 2011, s. 454).

2.2.6 Görünür ve işbirlikçi yürütme

Bir önceki DDMRP bileşeni olan planlama adımında üretilen tedarik sipariş önerileri onaylandıktan sonra açık tedarik siparişine (satın alma, üretim veya transfer emri) dönüşerek talep odaklı yürütmenin konusu olurlar. DDMRP planlama ve yürütme arasındaki bu kesin ayırıma özel önem verir. DDMRP "yürütme"; açık siparişlerin yönetimini tampon durumları ve senkronizasyon kriterlerini gözeterek yerine getirir. Net akış denklemi, hesapladığı stok pozisyonunu sadece planlamada kullanılırken, eldeki mevcut bilgisi tamponun yürütme esnasında görevini yerine getirme gücünü işaret eder. Başka bir deyişle, tamponda mevcut yoksa o zaman "ayrıştırma" noktası ayrışmış olmayacak ve değişkenliği önlemeden aktaracaktır. DDMRP, yürütme esnasında akışı yönetmek için (1) tampon durum ikazları ve (2) senkronizasyon ikazlarını kullanır (Ptak ve Smith, 2016)

2.2.6.1 Tampon durum ikazları

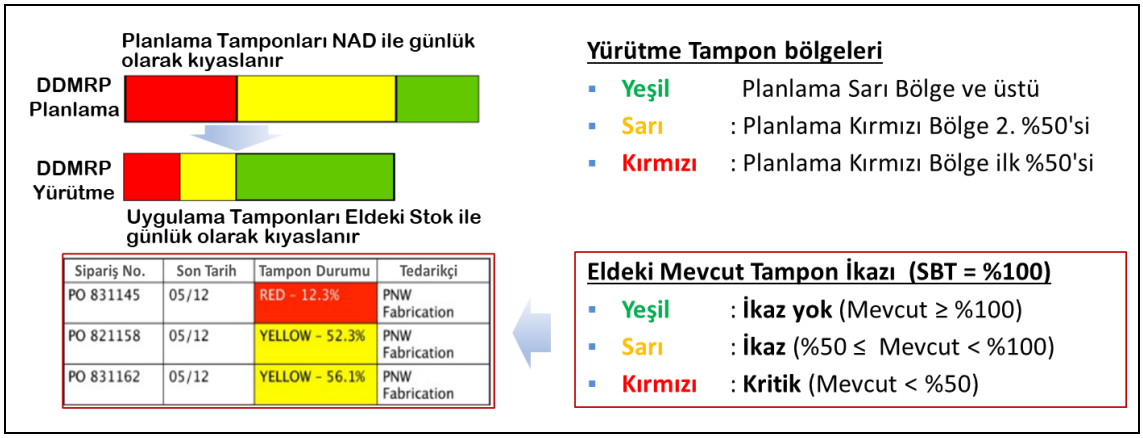
Tedarik sürelerine dayandırılan son teslim tarihlerine göre açık siparişlerin önceliklendirilmesi başta MRP tabanlı sistemler olmak üzere yaygın şekilde kullanılmaktadır. Burada genel yanılgı planlamanın yapıldığı gibi yürütüleceği varsayımıdır. Gerçekte ise açık siparişler süresince meydana gelecek değişiklikler

öncelikleri de değiştirmektedir. DDMRP bu maksatla anlaşılması kolay ve görünür ikazlar üreterek yürütmeyi sağlar. DDMRP hemen ve çok yakın gelecek (bir ATS boyu kadar) öncelikleri için şu iki ikazı kullanır:

Eldeki miktar ikazı: Hangi ikmal edilen tampon noktalarında eldeki miktar bakımından sıkıntı olduğunu gösterir. Eldeki stok miktarının kırmızı bölgeye girmesi durumunda yüzde ve renk kodu olarak ikaz üretir. Yüzde, eldeki miktarın kırmızı bölgedeki yüzdesi olarak hesaplanır. İkaz seviyesi genellikle kırmızı bölgenin %50'si olarak alınır. Renk kodu, eldeki miktar kırmızı bölgenin dışında ise yeşildir. Kırmızı bölgenin içinde ve %50'sinin üstünde ise sarı, %50 altında ise kırmızı ikaz üretilir. Azalan yüzde tamponun sağlayacağı korumanın azaldığını gösterir. Kırmızı olması durumunda öncelikle tedbir alınması gerekir (Ptak ve Smith, 2011, s. 461).

Beklenen tampon durumu ikazı: Bu ikaz, genellikle bir ATS boyu kadar yakın gelecekteki beklenen siparişlerin tampon durumunu nasıl etkileyeceğini gösterir. Böylece daha erkenden önleyici tedbir alınmasını sağlar. Eldeki miktar ikazındaki esaslar geçerlidir. Sadece ATS kadar yakın gelecekteki toplam OGK ile beklenen siparişler ile kıyaslanarak bulunan (beklenen) eldeki miktar kullanılır (Ptak ve Smith, 2011, s. 461).

DDMRP'nin tampon durumu ikazlarını sadece eldeki mevcutları dikkate alarak yaptığı yukarıda ifade edilmişti. Ptak ve Smith (2016) bunu, tedarik sipariş emri oluşturmak için gereken işlemlerle açık siparişleri yönetmek için gereken işlemleri birbirinden ayırmak için kullanır. DDMRP açık siparişlerini önceliklendirmede, klasik teslim zamanı bazlı önceliklendirme yerine tamponların eldeki miktar seviyelerini kullanır. Bu durum, planlama ve yürütme için iki farklı görünüm ve ilgili bilginin sağlanmasını gerektirir. Bu nedenle yürütmede tampon bölgeleri, planlamada olduğundan farklıdır (Şekil 5).



Şekil 5. DDMRP Planlama ve Yürütme Görünümü (Ptak ve Smith, 2016'dan uyarlanmıştır)

2.2.6.2 Senkronizasyon ikazları

DDMRP yürütme esnasında, tampon kullanılarak ayrıştırılmayan ve bağımlı talep yapısı içerisinde birbirini etkileyen malzemeleri etkin ve akışa uygun yönetmek için senkronizasyon ikazları kullanır. Bu maksatla DDMRP, (1) malzeme senkronizasyon ikazı ile (2) tedarik süresi ikazlarını kullanır. Malzeme senkronizasyon ikazları, talebi yönetmek için yapılan malzeme atamalarında meydana gelebilecek tedarik sıkıntılarını ikaz eder. Yani, açık bir siparişteki gecikme nedeniyle eldeki miktarın negatif olacağı ilk noktayı gösterir. Hızlandırma veya yeniden çizelgeleme ile çözüm aranır. Tedarik süresi ikazı ise, tamponu olmayan stratejik parçalar için kullanılır. Miktar olarak stok tutulması gerektirmeyen ancak eksikliği ciddi senkronizasyon problemleri doğuran malzemelerdir. Bu malzemeler, tedarik süresinin 2/3'ün geçtikten sonra ikaz üretirler. Böylece sıkıntılı malzemeler tedarik sürelerinin kalan 1/3'lük dilimlerinde takip edilmeye başlanır, aksamalara karşı tedbir alınır (Ptak ve Smith, 2016).

3. ÜRETİM YÖNETİMİ VE ÜPK SİSTEMLERİ

Bu bölümde ÜPK faaliyetleri ve hiyerarşik yapısı anlatılarak itme-çekme yaklaşımı ve üretim stratejilerinin ilişkisi sunulacaktır. Ayrıca itme ve çekme yaklaşımlarının temsilcisi olan MRP ve Kanban sistemleri ile TOC yaklaşımı açıklandıktan sonra, DDMRP metodolojisi detaylı olarak anlatılacaktır.

3.1 Üretim Yönetimi ve Planlama Faaliyetleri

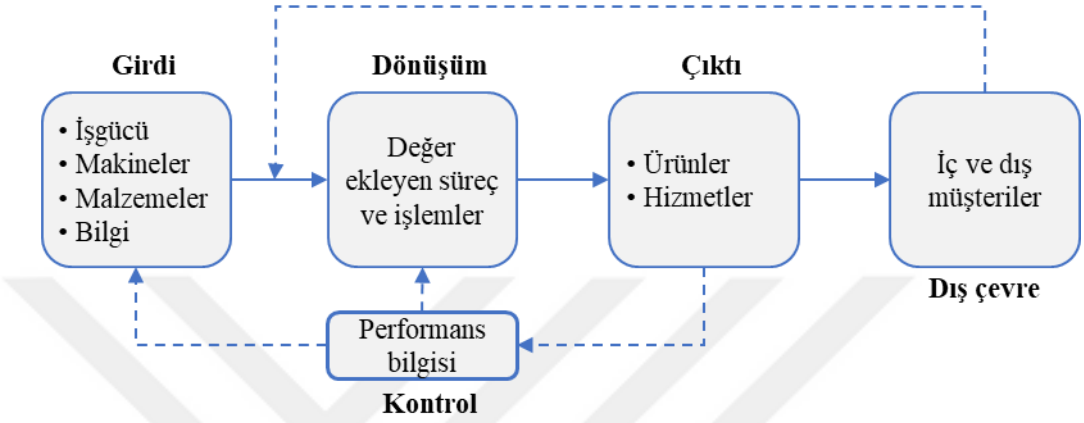
3.1.1 Üretim yönetimi (Operations management)

Hizmet ve ürünlerin meydana getirildiği üretim faaliyetleri tüm işletmelerin bünyesinde yer alır ve bu işlemlerin (operations) yönetilmesi üretim yönetimi (operations management) olarak adlandırılır (Heizer, Render, ve Munson, 2017, s. 4). Bu tanımdaki "operations management" ifadesinin daha doğru Türkçe karşılığı "üretim faaliyetleri/işlemleri yönetimi" olarak düşünülebilir. Burada yerleşmiş literatürdeki kullanıma sadık kalarak "üretim yönetimi" şekliyle kullanılacaktır.

Üretim yönetimi en genel tanımıyla iş gücü ve hammadde gibi kaynakların girdi olduğu ve daha yüksek değerli ürün ve hizmetler olarak çıktı haline dönüştürüldüğü süreçlerin oluşturulması, yönetilmesi ve kontrolüdür. Süreç bakışıyla girdilerin müşteriler için çıktılara dönüştürüldüğü faaliyetlerden oluşan bu yapı Şekil 6'da sunulmuştur. Benzer süreçlerin firma içinde ve farklı firmalar arasında bir araya getirilmesiyle müşteri taleplerinin karşılanmasına yönelik ürün ve hizmetlerin üretildiği tedarik zincirleri oluşur. Bu zincirde yer alan tüm firmaların süreçlerinin senkronize edilerek müşteri talebine uygun malzeme, hizmet ve bilgi akışının sağlanması ise tedarik zinciri yönetimidir. (Krajewski, Malhotra, ve Ritzman., 2016, s. 23).

Tedarik zinciri yapısında üretim talep ile arzın uyumunu sağlayan önemli bir fonksiyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca üretim kontrol fonksiyonuyla, planlanan ve gerçek süreç arasındaki performans farklarını ortaya koyarak karar vericilerin TZ belirsizlik ve riskleri yönetmelerinde önemli bir rol oynar. TZ ve üretim yönetiminde, talep ile arzı eşleştirmek için verilen kararlar, genellikle performans olarak maliyet, zaman ve kalite

bakımından ürün ve hizmetlerin en verimli ve etkili şekilde elde edilmesini hedefler (Ivanov, Tsipoulanidis, ve Schönberger, 2019, s. 5).



Şekil 6. Süreç bakışıyla üretim (Krajewski vd., 2016, s. 5'ten uyarlanmıştır)

3.1.2 Planlama seviyeleri

Planlama genel manasıyla hedeflere ulaşmak için gerekli olan işlemlerin ve kaynakların belirli bir sistematik içerisinden belirlenmesi faaliyetidir (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 50). Gelecek için tahmin edilen faaliyetlerin alternatifleriyle belirlenmesi ve içlerinden en iyi olanının belirlenmesi yönüyle karar verme sürecini destekleyen bir fonksiyondur (Fleischmann, Meyr, ve Wagner, 2016, s. 71). Planlar yapıldıkları süre içerisinde geçerli olurlar. "Planlama ufku" olarak adlandırılan bu sürenin uzunluğuna göre planlar üç seviyeye ayrılırlar: (1) Uzun süreli planlama (2) Orta süreli planlama (3) Kısa süreli planlama. Planlama ufkunun uzunluğu yanında her seviyede alınan kararların özelliği ve önem derecesi de bu gruplandırmayı gerekli kılmaktadır. Bu seviyeler hiyerarşik bir yapıda genel olarak şu şekilde ifade edilebilir (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 50; Fleischmann, Meyr, ve Wagner, 2016, s. 72):

- Uzun dönem planlama: Stratejik kararların alındığı seviyedir. Bu seviye TZ'nin hedefi için gerekli öncülleri oluşturarak gelişimine yön verir. Etkileri uzun vadede ortaya çıkan TZ yapısı ve tasarımını ilgilendiren kararlar oluşturulur. Örneğin üretim politikalarının

belirlenmesi, tesis yeri seçimi, dağıtım ve müşteri hizmet düzeyi politikalarının belirlenmesi gibi işletme stratejik iş planını oluşturan kararlar. Planlama ufku firmaların ihtiyacına göre değişmekle birlikte 5-10 yıl gibi uzun süreleri kapsar.

- Orta dönem planlama: Uzun süreli planlamanın oluşturduğu politikalar ve kısıtlar doğrultusunda TZ operasyonlarının yürütülmesi için esasları belirler. Uzun dönem plan ile belirlenen hedeflere nasıl ulaşılacağını belirleyen taktik seviyedir. Genel olarak 1 aydan ile 24 aya kadar değişen bir dönemi kapsar ve mevsimsel değişimleri de göz önünde bulundurur. Bu seviye kararlara örnek olarak Yıllık iş planlaması, ana üretim çizelgesinin hazırlanması, kapasite planlaması, malzeme gereksinim planlaması gibi kararlar verilebilir.

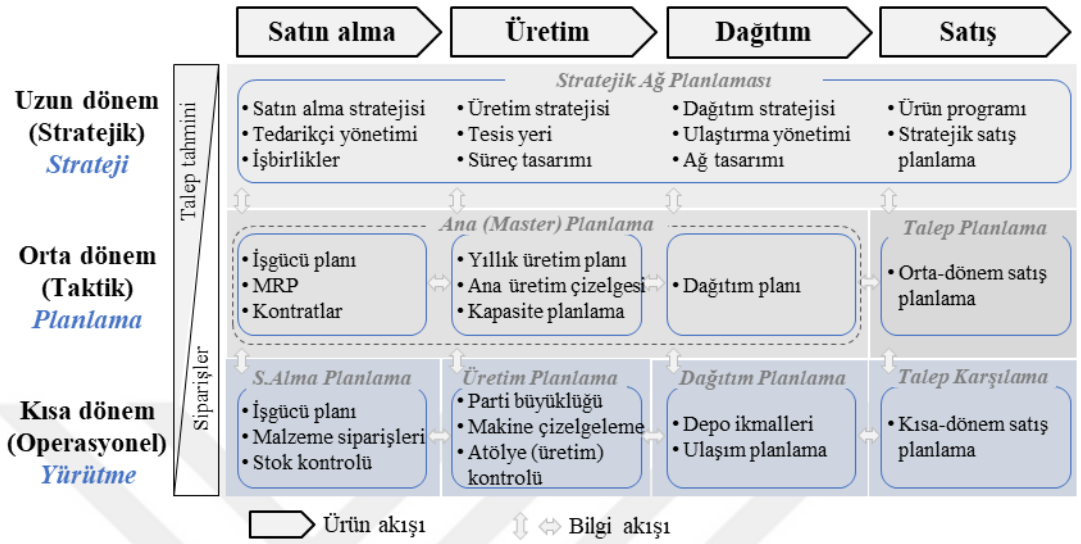
- Kısa dönem planlama: Kararların en detaylı şekilde alınarak yürütme ve kontrol faaliyetleri için kesin emirlere dönüştürüldüğü seviyedir. Operasyonel seviye olarak da adlandırılan bu seviye günlükten 3 aya kadar bir dönemi kapsayabilir. Üst seviyelerin getirdiği kısıtlar altında en detaylı ve doğru kararlar oluşturularak TZ için en iyi performansın elde edilmesi hedeflenir. Örneğin iş gücü ve makine çizelgeleme, iş merkezlerinin yüklenmesi, siparişlerin oluşturulması gibi kararlar bu seviyede alınırlar.

Literatürde Uzun-Orta-Kısa, Stratejik-Taktik-Operasyonel ve Strateji-Planlama-Yürütme (Ivanov vd., 2019, s. 11) gibi farklı adlarla adlandırılabilen bu üç seviyede yapılan planlamalar hiyerarşik bir yapı oluşturmaktadır. Genelden (Uzun) başlayarak birbirlerini daha detaylı hale getirmektedir. Örneğin ürün aileleri bazında el alınan talep ve kapasite planlamaları alt seviyelere gelindikçe varyantlar ve son ürünler bazında detaylandırılmaktadır. Kısa dönem en detaylı kararların uygulamaya esas olarak yapıldığı ve takip edildiği seviye olmaktadır.

3.1.3 Tedarik zinciri ve üretim yönetimi planlama matrisi

Yukarıda behsedilen planlamanın farklı seviyeleri ve yapılan planlama görevlerini TZ ve üretim yönetiminin farklı süreçleri için ayrıştırmak mümkündür (Fleischmann vd., 2016, s. 77; Ivanov vd., 2019, s. 11). Fleischmann ve diğerleri (2016, s. 76) TZ ağındaki tek bir firma için TZ planlama görevlerini matris yapısında genel olarak ifade ederler. Planlama ufku ile satın alma, üretim, dağıtım ve satışlar gibi dört temel TZ süreci boyutlarından

oluşan bu matris yapı Ivanov ve diğerlerinin (2019, s. 11) Strateji-Planlama-Yürütme bakışı da yansıtılarak Şekil 7'de verilmiştir.

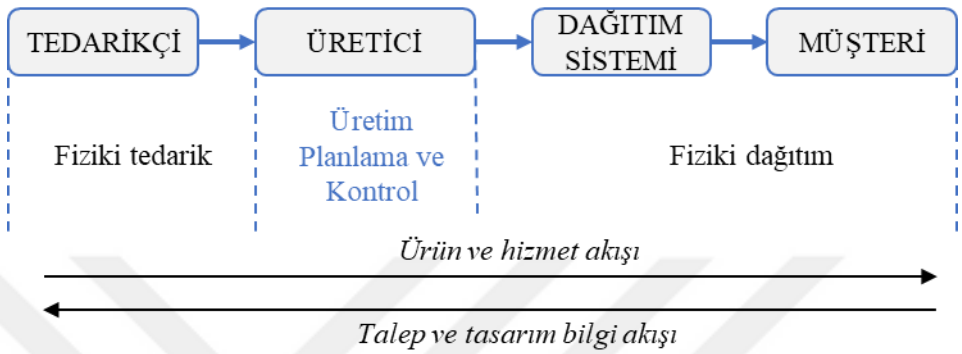


Şekil 7. TZ ve Üretim Yönetimi Planlama Matrisi (Fleischmann vd., 2016, s. 77; Ivanov vd., 2019, s. 11)

Satın alma üretim için gerekli malzeme ve personel gibi kaynakları sağlarken, dağıtım üretimden çıkan ürünleri TZ'de daha aşağıdaki müşterilere ulaştırır. Burada eldeki kaynakların sınırı üretimi kısıtlarken satışın sağlayacağı talep tahminleri ve kesinleşmiş siparişler üretim dahil diğer süreçler için yönlendirici bir role sahiptir. Bu süreçlerin uzun dönemli planlamada bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğinden Şekil 7'de bu seviye tek bir blok olarak gösterilmiştir. Gösterilen görevler genel olarak tüm firmalara uygulanabilir, ancak endüstri ve iş koluna göre içerikleri değişebilmektedir (Fleischmann vd., 2016, s. 77).

Chapman ve diğerleri (2017) malzeme akışını üç aşamaya ayırırlar: (1) fiziksel tedarik sistemi (2) üretim planlama ve kontrol (ÜPK) (3) fiziksel dağıtım sistemi. Bu yapıda tedarikçilerden gelen ham madde üretici tarafından ÜPK sistemiyle değer katılarak son ürünlere dönüştürülmekte ve müşterilere ulaştırılmaktadır. Tedarik zincirinin tek bir halkası içinde düşünülebilecek bu yapı, talep ve tedarik ilişkisiyle birbirine eklenen halkalarla zincir haline gelmektedir. Böylece tedarikçinin başka tedarikçiler için müşteri olabildiği ve müşterinin de başka müşterilerin tedarikçisi olabildiği ağ yapısında malzeme akışı devam edecektir. Sonuçta tedarikçi-müşteri ilişkisine sahip bütün firmalar aynı

zincirde yer alacak ve talep ile tedariğin tüm zincirde uyumlu hale getirilmesi amaçlanacaktır. Malzemenin akışını amaca uygun şekilde gözeterek talep ve tedarik dengesini sağlamada ÜPK sisteminin doğru esaslarla etkin ve verimli işletilmesi önem bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 8. Tedarik-Üretim-Dağıtım sisteminde akışlar (Chapman vd., 2017, s. 16)

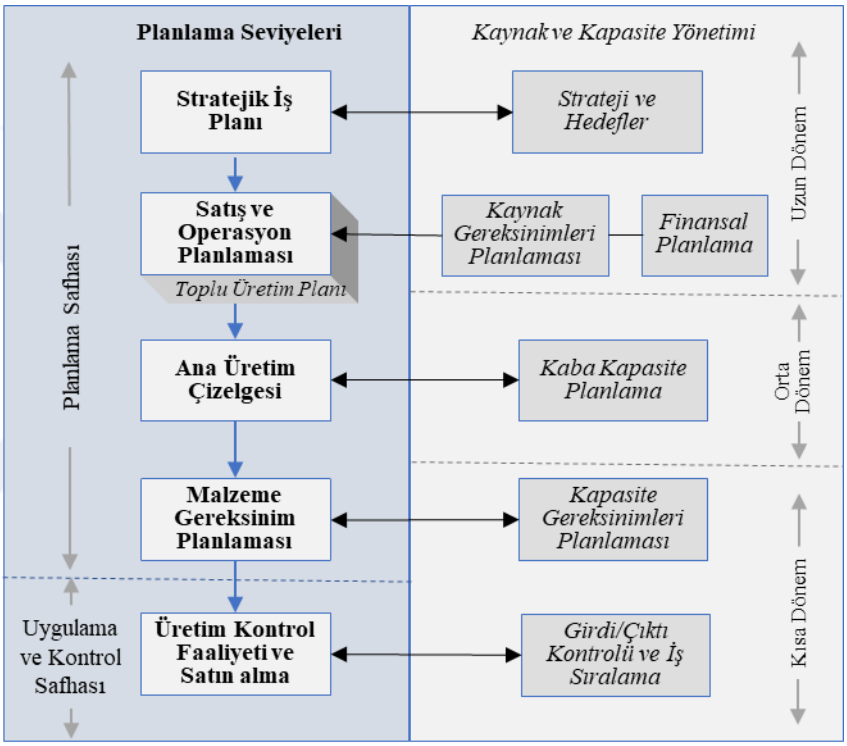
Burada TZ ve üretim yönetimi planlama görevlerinin (**Şekil**) detaylarına girilmeyecek, ancak konu bütünlüğü açısından sonraki bölümde ÜPK özelinde ilgili kısımlara değinilecektir. Şekil 7'deki süreçlerin alt süreçleri ve görevlere ilişkin Fleischmann ve diğerleri (2016) ile Tanyaş ve Baskak (2017) detaylı bilgi için başvurulabilir.

3.2 Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK) ve Hiyerarşik Faaliyetleri

Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK), genel olarak ürünlere olan talebi karşılamak için işletme kaynaklarını en etkin ve verimli şekilde kullanan üretim yönetimi faaliyetleridir. ÜPK, ürünler ile gerekli malzeme ve üretim kaynaklarını belirleyerek, istenen miktar, zaman ve kalitede üretilmesini sağlayacak planlama ve kontrol faaliyetlerini gerçekleştirir. Üretim öncesindeki planlama; iş gücü, makine, ham madde gibi üretim girdilerini esas alarak miktar, zaman ve üretim kaynakları boyutuyla üretimin nasıl yapılacağını belirler. Üretim esnasında ve sonrasındaki kontrol ise gerçekleşecek üretimin detaylı planlamasını yapar, üretimin ana plana uygunluğunu ve performans göstergelerini takip eder ve düzeltici tedbirler alınmasını sağlar (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 49).

Benton (2013, s. 2) tedarik zinciri yapısında ÜPK sistemleri için temel amacı "istenen ürünlerin doğru zamanda doğru miktarda üretilmeleri ve istenen kalite özelliklerini en

maliyet etkin şekilde karşılamalarının sağlanması" olarak ifade eder. Chapman ve diğerleri (2017, s. 31) bir ÜPK sistemini; amacı, planlama ufku ve içerdiği detay bakımından farklılıklar gösteren beş temel seviyede tanımlar: (1) Stratejik iş planı, (2) Üretim planı (Satış ve üretim planı) , (3) Ana üretim çizelgesi, (4) Malzeme gereksinim planı, (5) Satın alma ve üretim faaliyetleri kontrolü. İlk dört seviye ÜPK'nın planlama safhasını, son seviye ise uygulama ve kontrol safhasını oluşturmaktadır. Bu hiyerarşik planlama yapısı ve her seviyenin kapasite planlama ilişkisi Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. ÜPK Hiyerarşik Yapısı (Chapman vd., 2017, s. 31)

3.2.1 Stratejik iş planı

Stratejik iş planı; işletmenin uzun dönemdeki temel amaç ve hedefleri ile bunlara nasıl ulaşılacağının ortaya konulduğu stratejik planın finansal olarak detaylandırıldığı çalışmalardır. Ana ürün grupları bazında pazar koşullarını dikkate alan iş planı ile pazarlama, üretim, mühendislik (tasarım) ve finansal stratejiler uyumlu hale getirilir. Uzun dönemli planın parçası olan iş planı işletmenin 1-2 yıllık yakın gelecekteki finansal (gelir, maliyet ve kâr olarak) değerlendirmesidir. Genellikle 6 ile 12 aylık periyotlarda güncellenir (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 54; Chapman vd., 2017, s. 33).

3.2.2 Satış ve üretim planı

Satış ve üretim planı, işletmenin mevcut kaynaklarının pazardaki talebi karşılayacak şekilde planlanmasıdır. İş planı doğrultusunda her periyotta üretilmesi gereken ürün grupları ve hedeflenen stok düzeyleri ile ihtiyaç duyulan iş gücü, malzeme ve ekipman gibi kaynakların seviyeleri ve mevcut durumları ele alınır (Chapman vd., 2017, s. 34). Satış, üretim, satın alma ve kapasite planlamalarının üst seviye planların en son durumuna uygun olarak güncel kalması sağlanır (Benton, 2013, s. 50). Öngörülen talebi karşılayacak gereksinimler ile mevcut kaynakları istenen amaca uygun en optimum noktada dengeleyen bir plan oluşturulur. Plan bu maksatla üretim hızı, iş gücü ve stok seviyeleri, fazla mesai, makine kullanım kapasiteleri gibi kontrol edilebilir girdileri ayarlar (Heizer vd., 2017, s. 534).

Toplu plan (toplu üretim planı) (aggregate plan) olarak da adlandırılan bu plan, stratejik iş planı ile her periyottaki üretimi ürün aileleri bazında ilişkilendirir. Planlama ufku genellikle 6 – 18 aydır. Bu süre içerisinde uygulanabilir bir planlama gerçekleştirilemezse stratejik olarak önlem almak gerekir. Mevcut kaynaklar ile gereksinimlerin dengelenmesi birbiri ile çelişen kısıtları içerdiğinden satış ve üretim durumunun dinamik olarak göz önüne alınması gerekir. Bu nedenle de genellikle aylık veya üç aylık sürelerle güncellenir (Chapman vd., 2017, s. 34).

3.2.3 Ana üretim çizelgesi (AÜÇ)

Ana üretim çizelgesi (AÜÇ) ile ürün ailesi yerine son ürün bazında daha detaylı bir planlama yapılır. Ana üretim çizelgesi, ürün ailelerindeki her bir son ürün için hangi periyotta ne kadar üretim yapılacağını gösterir. Bunun için toplu üretim planı, her bir son ürün için satış tahmin ve siparişleri, stok düzeyleri ve mevcut kapasiteler kullanılarak AÜÇ oluşturulur. Planlama ufku genellikle 3-18 ay arasındadır ve haftalık veya aylık periyotlarda güncellenir (Chapman vd., 2017, s. 34).

Planlama ufku istenen üretim ile ilgili tüm faaliyetleri kapsayacak kadar uzun olmalıdır (Benton, 2013, s. 83). Yani planlama ufku AÜÇ ile planlanan ürünler için en büyük kümülatif temin süresini kapsamalıdır. Burada planlama ufku kapsamında yuvarlanan (rolling) planlama prensibi uygulanmaktadır. Örneğin 10 haftalık planlama ufkuna sahip

bir plan haftalık olarak güncellendiğinde, her hafta yeni bir 10 haftalık plan uyarlanarak (yuvarlanarak) devam ettirilir (Heizer vd., 2017, s. 568).

AÜÇ gerçek üretimin temelini teşkil eder. Bu yönüyle satışlar ve üretim arasındaki ana bağı oluşturur. Tanyaş ve Baskak (2017, s. 193), kaba kapasite planlaması için yapılacak taslak AÜÇ süreci için şu adımları tanımlar: (1) elde tutulması istenen stok miktar hesabı, (2) MPS miktarlarının büyüklük ve zaman olarak hesabı, (3) satılabilir (Available to promise – ATP) stok miktarı hesabı, (4) AÜÇ'nin dondurulması ve (5) AÜÇ'nin toplu üretim planı ile uzlaştırılması. İlk üç adımdaki işlemler planlama ufku zaman dilimleri (time fence) ve ayrıştırılmış son ürünlerden oluşan bir matris yapısında hesaplanır. Chapman ve diğerleri (2017, s. 59) bu matrisi ana çizelge (master schedule) ve matrisin oluşturulması sürecini de ana (üretim) çizelgeleme olarak adlandırırlar.

AÜÇ'de yapılacak miktar ve zaman değişiklikleri üretimi ve satışı ciddi olarak etkileyecektir. Bu nedenle AÜÇ'nin yakın zamandaki bölümünün, özellikle stok için üretim (make-to-stock, MTS) işletmeler tarafından değişimine izin verilmez. Bu AÜÇ sürecinin başarısı AÜÇ ile toplu üretim planının tutarlı olmasını gerektirir. Çünkü toplu kapasitelere göre geliştirilen üretim planını gerçek çıktılara dönüştürecek olan AÜÇ'dir (Krajewski vd., 2016, s. 463).

Üretimin kabiliyetleri ve yapacakları konusunda AÜÇ gerçekçi ve uygulanabilir olmalıdır. Kritik kaynakların oluşturulan taslak AÜÇ'nin uygulanması için yeterliliği kaba kapasite planlaması (Rough-cut Capacity Planning, RCCP) ile gerçekleştirilir. Burada darboğaz oluşturan üretim adımları, iş gücü ve kritik hammaddeler göz önüne alınır. Eğer kaynaklar yeterli değilse AÜÇ yenilenerek uygulanabilir hale getirilir. Aksi durumlarda (1) üretimde fazla veya eksik yükleme, (2) dağıtım performansında düşüş, (3) yüksek seviyelerde ara ürün stokları, (4) zayıf müşteri hizmet düzeyi ve (5) planlama sisteminin kullanışlılığı ve güvenirliğine olan güvende azalmalar meydana gelebilir. Bu nedenle başarılabilir ve mevcut kapasite ile gereken kapasiteyi dengelemiş bir AÜÇ üretim sistemi için oldukça önemlidir (Chapman vd., 2017, s. 71).

Belli sayıda bir ürünün aynı üretim noktasında üretilmesi AÜÇ ile ilgili şu yönetimsel kararların alınmasını zorunlu kılmaktadır:

- Parti büyüklüğü (lot sizing): her stok kaleminin üretim parti büyüklüğü.
- Sıralama (sequencing): üretim sıralamalarında, parça ve bileşen stok seviyeleri, hazırlık süreleri, maliyetler ve kapasite vb. durumuna göre değişimler.
- Öncelikler (priorities): üretim siparişlerinin öne alınması veya ötelenmesi.
- Üretim kapasite değişiklikleri: toplu üretim planı kısıtlarına göre ayarlamalar. (Grando, 2021b, s. 247)

Ana üretim çizelgeleme faaliyeti tahmine dayandığından, talep tahminin ve AÜÇ'nin doğru ve etkin yönetimi için mümkün olan en az sayıda ürünün esas alındığı bir planlama takip edilmelidir (Chapman vd., 2017, s. 63). Burada firmanın rekabet stratejisi ve pazarın dayattığı koşullar her ürün hattı için farklı üretim stratejilerine dayalı AÜÇ alternatifleri kullanmayı gerektirmektedir. Uygulamada üç üretim stratejisi (1) stok için üretim, (2) siparişe göre monte ve (3) siparişe göre üretim yaygın olarak kullanılmaktadır (Benton, 2013, s. 81). Bu üç üretim stratejisi ve AÜÇ ile olan yapısal ilişkileri Bölüm 3.4.4'te ele alınmıştır.

3.2.4 Malzeme gereksinim planlaması (MRP):

Malzeme gereksinim planlaması (MRP), ana üretim çizelgesindeki ürünlerin ürün ağaçlarında belirtilen hammadde ve parçalarının satın alınması ve üretilmesi için yapılan bir plandır. Yüksek detaydaki bu plan son ürünün miktarına göre ona bağımlı olan ve ürün ağacı ile ilişkilendirilen kalemlerin miktarları ile üretimin bunlara ne zaman ihtiyaç duyduğunu ortaya koyar. Planlama ufku en az kümülatif temin süresini kapsayacak şekilde oluşturulur. Planlama sıklığı AÜÇ'nin aynısı veya ihtiyaca göre günlük, haftalık olabilir (Chapman vd., 2017, s. 34).

Kurumsal kaynak planlama (ERP) sistemlerinin özünü oluşturan MRP, bağımsız talep gören ürünler için zaman fazlı bağımlı (ikincil) talep gereksinimlerini hesaplar. Bağımsız talepler genellikle son ürünler için ve tahmine dayalı olarak planlama ufkunda zaman serisi olarak AÜÇ'den MRP'ye aktarılır. Bağımsız taleplerin, zaman fazlı olarak bağımlı taleplere dönüştürülmesi, üretim ve satın alma siparişlerinin en az ara ürün ve stok oluşturacak şekilde bağımsız talebin karşılanmasını hedefler (Stadtler, 2016, s. 213).

MRP'nin işleyişi ve özellikleri detaylı olarak özellikleri, itme-çekme esaslı ÜPK sistemleri bakışıyla üretim kaynakları planlaması (MRPII) kapsamında Bölüm 3.5.1'de incelenmiştir.

3.2.5 Satın alma ve üretim kontrol faaliyeti (ÜKF)

Satın alma ve Üretim Kontrol Faaliyeti (ÜKF), ÜPK sisteminin uygulama (yürütme) ve kontrol safhasıdır. Bu seviye MPS ve MRP'nin uygulamaya konularak hammaddelerin üretim tesisine, üretilen ara ürünlerin ise tesis içerisinde akışının planlanması ve kontrolünü gerçekleştirir. Bunu yaparken mevcut iş gücü ve makineler en etkin ve verimli şekilde kullanılarak ara ürün stokunun azaltılması ve istenen müşteri hizmet düzeyinin sağlanması hedeflenir. İşlemlerin başlatılması, izlenmesi ve düzeltici tedbirlerin alınması ile performans raporlaması bu seviyeyi karakterize eder. Her bir parça, iş istasyonu ve sipariş bazında planlama ve kontrol gerektiğinden en yüksek detay bu seviyededir. Planlama ufku oldukça kısadır (1 günden 1 aya kadar olabilir) ve planlar günlük olarak gözden geçirilir ve güncellenir.

Yukarıda bahsedilen ÜPK hiyerarşik seviyeler için planlama faaliyetinin amacı, detayı, planlama ufku ve tekrarlama sıklığı gibi özellikler Tablo 7'de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 7. ÜPK seviyeleri ve özellikleri (Chapman vd., 2017, s. 33'ten uyarlanmıştır)

Seviye	Amacı	Detay	Planlama Ufku	Periyodu
Stratejik İş Planı	İşletmenin uzun dönem politika ve hedeflerinin finansal olarak belirlenmesi (pazarlama, üretim, tasarım ve finansal stratejiler)	Ana ürünler bazında genel market koşulları	2-10 yıllık dönemde 1-2 yıllık yakın gelecek)	6-12 ay
Satış ve Üretim Planı (Toplu Üretim Planı)	İş planı çerçevesinde, planlama periyodundaki talep ile arzın dengelenmesini hedefler. Bunun için şu parametreleri belirler: • Üretim hızı • Stok düzeyleri • İş gücü ve fazla mesai • Makine kapasite düzeyleri • Fason üretim	Ürün aileleri, benzer makine ve iş gücü grupları	6-18 ay	1-3 ay
Ana Üretim Çizelgesi	Toplu üretim planını ayrıştırarak son ürün bazında	Her bir son ürün ve yedek parça	3-18 ay	Haftalık-Aylık

	ne zaman ne kadar üretim yapılacağının belirlenmesi			
Malzeme gereksinim planlaması (MRP)	Son ürünleri oluşturan hammadde ve parçaların gereksinim miktar ve zamanlarının belirlenmesi	Ürün ağacındaki tüm kalemler	En az kümülatif temin süresi kadar	AÜÇ ile aynı veya ihtiyaca göre daha kısa
Satın alma ve Üretim Kontrol Faaliyeti (ÜKF)	Satın alma ve atölye üretim faaliyetlerinin yürütülmesi ve kontrolü	Her bir parça, makine ve sipariş emri	1 günden 1 aya kadar	günlük

3.3 ÜPK Sistemlerinde İcra Edilen Ortak Faaliyetler

Önceki kısımda ÜPK için planlama ve kontrol aşamalarını içeren beş hiyerarşik seviye özet olarak anlatıldı. Bu seviyelerde yapılan faaliyetler üretim ortamı ve hedeflenen pazarın gerektirdiği rekabet koşullarına göre farklılıklar taşıyacaktır. Ancak her türlü üretim ortamında icra edilmesi gereken ortak ÜPK seviye ve faaliyetleri bulunmaktadır. Chapman'a (2006, s. 249) göre ortak faaliyetlerden üçü yukarıda Bölüm 3.2'de bahsedilen (1) Satış ve üretim planı, (2) Ana çizelgeleme (master schedule) ve (3) üretim faaliyetleri kontrolü planlama seviyeleri ile aynıdır. Diğer ortak faaliyetler olan (4) tahmin, (5) stok yönetimi, (6) kapasite planlaması ve (7) kısıtların yönetilmesi aşağıda özet olarak verilmiştir:

- Tahmin: Satış tahminleri, üretim planlama sürecinin başlangıcında kullanılan talep planını oluşturmak için yapılması gereken zorunlu bir faaliyettir. Firmalar kritik yatırım kararları ile genel üretim kapasiteleri ve iş gücü seviyeleri gibi hususları orta (1-3 yıl) ve uzun süreli (3-5 yıl) tahminlerle yönlendirirken, kısa süreli (1 yıl) tahminler ÜPK sisteminin temelini oluşturmaktadır (Grando, 2021a, s. 127). Kısa dönemde pazar tarafından talep edilen son ürünlere olan talebin (bağımsız talep) tahminine olan ihtiyacı, planlama indeksi (aynı zamanda temin süresi oranı) olarak da adlandırılan pazarın kabul ettiği dağıtım süresinin (müşteri tolerans süresi) ürünün toplam üretim süresine oranı belirlemektedir (Grando, 2021b, s. 235). Eğer ürünün toplam üretim süresi müşteri tolerans süresinden büyükse (planlama indeksi < 1) o zaman ilgili kaynakların dağıtılması ve üretim faaliyeti talep oluşmadan başlamalıdır. Bu durumda talebin tahmin edilmesi üretim planlaması için zorun hale gelmektedir. Talebin detayı kullanım amacına göre değişirken (Ör. kritik bir ürünün talep tahmini daha detaylı, kapasite planlaması için daha

az detaylı olmakta), talebin kapsayacağı süre ürünün toplam üretim süresine göre belirlenecektir (Chapman, 2006, s. 250).

- Stok yönetimi: Üretim ve TZY süreçlerinin temel bileşenlerinde biri olan stok yönetimi her işletmenin bünyesinde olan stokların etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi, planlanması ve kontrolünü sağlar. Malzeme akışı olarak bakıldığında, katma değer sağlayan her süreç içerisindeki malzeme stokun konusu olmaktadır. İşletme özellikle dağıtım hızı bakımında pazarda üstünlük sağlamak istediğinde stok düzeyleri ve üretim hızını kontrol ederek bunu başarabilecektir. Bu noktada stok yönetimi stok yatırımı ile müşteri hizmet düzeyi arasında stok yönetimi ile işletmenin amacına uygun bir denge sağlayacaktır. Her üretim yapan işletme bunu en etkin ve verimli şekilde başarmak için stok yönetimini kullanacaktır (Chapman, 2006, s. 250).
- Kapasite planlaması: Firmalar kendilerinden talep edilen ürünleri doğru miktar ve türde kapasiteye sahip oldukları sürece üretebileceklerdir. Bu da kapasite yönetimini her türlü üretim ortamı ve ÜPK sistemi için önemli hale getirmektedir. Kapasite planlama hiyerarşik planlama seviyelerine dayanan yinelemeli ve etkileşimli bir süreçtir. Üretim için gerekli kapasitenin belirlenmesi ve mevcut ile karşılaştırılarak planlarda gerekli düzeltmelerin yapılması ÜPK'nın tüm seviyelerinde yapılır ve uygulanabilir bir plan elde edilinceye kadar tekrarlanır (Chapman vd., 2017, s. 35). Bu sürecin doğru işletilmesi planlanan üretim çıktıları için kapasite gereksinimlerinin etkin ve verimli şekilde eşleşmesini sağlayacaktır. Eğer kapasite gereken zamanda oluşturulamazsa bu durum planlamada değişiklik gerektirecektir. Dolayıyla üretimin planlandığı gibi gerçekleştirebilmesi için kapasite planlaması ile gerekli kaynakların hazır bulundurulması tüm ÜPK sistemleri için önemli bir husus olarak ortaya çıkmaktadır (Benton, 2013, s. 216).
- Kısıtların yönetilmesi: İşletmeler bir seri üretim süreci ile girdileri istenen çıktılara dönüştürürler. Birbirine bağlı ve belirli kapasitelere sahip bu süreçlerden mutlaka birisi tüm üretim sürecindeki akışı kısıtlayacaktır. Darboğaz olarak da adlandırılan bu kısıtın uygun şekilde yönetilerek üretimin, yani sistemdeki akış kapasitesinin artırılması gerekecektir. Kısıtlar Teorici (TOC) kapsamında ilerde (Bölüm 3.6) incelenecek özel yöntemlerle darboğazın yönetilmesi ve akışın artırılması planlanabilmektedir (Chapman vd., 2017, s. 159).

3.4 İtme-Çekme Yaklaşımı ve Üretim Stratejileri

Üretim ortamında malzeme akışını belirleyen iki temel yaklaşım bulunmaktadır: İtme (push) ve çekme (pull). Genel olarak itme sisteminde ürünler planlama veya tahmine dayandırılarak hareket ederken, çekme sisteminde ürünler talebe göre hareket görürler (Wanke ve Zinn, 2004). İtme sisteminde üretim planlamasına göre ürünler üretildikçe bir sonraki noktaya itilirken, çekme sisteminde ise bir sonraki nokta ürünü talep ettiğinde hareket gerçekleşir (Nahmias ve Olsen, 2015, s. 437).

Benzer yaklaşımla üretim ortamlarını kapsayan geleneksel tedarik zinciri stratejileri de itme ve çekme olarak incelenebilir. Simchi-Levi ve diğerleri (2004, s. 42), üretim ve dağıtım kararlarının uzun dönemli müşteri beklentilerine (tahminlerine) dayandırılması (itme) ve tahmin yerine gerçek müşteri talebinin esas alınmasına (çekme) göre tedarik zincirlerinde itme-çekme sistemlerini tanımlarlar. Yazarlar, zincir üzerinde bu iki sistemi itme-çekme sınırı ile birbirinden ayırırlar. İtme tarafında ürünler, üretim tamamlandıkça itme-çekme sınırına doğru bir sonraki seviyeye itilirken, çekme tarafında ise ürün hareketi müşteri siparişi alındıkça gerçekleşmektedir. Bu yönüyle itme ve çekme bakışı tedarik zinciri stratejilerinin belirlenmesinde ve TZ süreçlerinde müşteri siparişinin rolünü belirlemede önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.4.1 Malzeme akışında ayrıştırma noktaları (Decoupling points)

Ayrıştırma noktası (decoupling points) kavramı konsept olarak malzeme akışı yönetimindeki temel unsurlardan biridir. Genellikle bir stok noktası ile ilişkilendirilen ayrıştırma noktaları, malzeme akışını alt-akışlara ayırarak daha odaklanmış ve kontrollü bir lokal akış yönetimine olanak sağlar (Wikner, 2014). Ayrıştırma noktası, ASCM sözlüğüne göre, ürün yapısında veya dağıtım ağında yerleştirilen ve süreçleri veya birimleri birbirinden bağımsız yapan stok noktaları olarak tanımlanmaktadır (Pittman ve Atwater, 2022, s. 50). Üretim ortamındaki stok noktaları, malzeme akışını malzeme ikmali ve malzemenin çekilmesi süreçleri olarak birbirinden bağımsız alt akışlara ayıran noktalar olarak görülebilir (Wikner ve Johansson, 2015).

Ayrıştırma noktalarının konumlandırılması müşteri temin sürelerini ve stok yatırımını belirleyen stratejik bir karardır. Başka bir deyişle stok tutma maliyetlerini müşteriye

cevap verme süresi kısıtları altında minimize edecek stratejik ayrıştırma noktalarının kararlaştırılmasıdır (Cid Yáñez, Frayret, Léger, ve Rousseau, 2009). Ayrıştırma noktalarının kullanılması, akıştaki bozulmalara karşı akışı daha dayanaklı kılarken, kullanılmadığı durumda bozulmalar, bağımlı akış yapısı üzerinde artarak yayılmaya devam edecektir (Goldratt ve Cox, 1984, aktaran Wikner, 2014).

3.4.2 Sipariş girim noktası (Müşteri sipariş ayırma noktası)

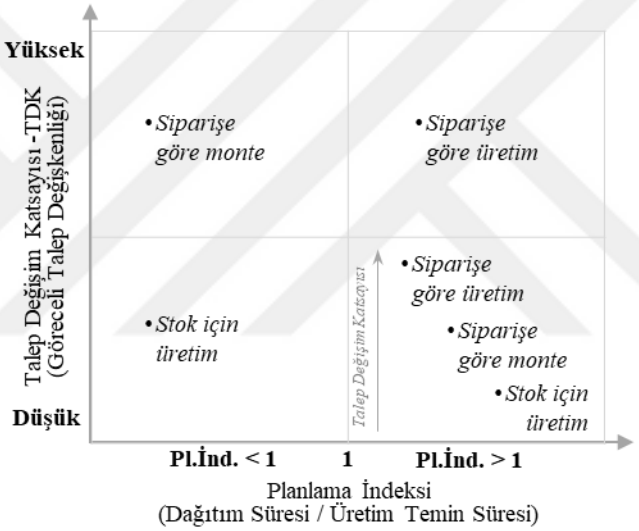
Sipariş girim noktası (Order Penetration Point) (SGN) ile müşteri sipariş ayırma noktası (Customer Order Decoupling Point) eş anlamda kullanılmaktadır. Olhager (2003), SGN'yi bir ürünün tedarik zincirinde (ve üretim ortamında) belirli bir müşteri siparişine atanmasının gerçekleştirildiği nokta olarak tanımlar. Olhager'e (2003) göre SGN'nin konumu, rekabet üstünlüğü sağlayan (örneğin TZ müşteri yönü faaliyetlerinde temin süresinde azalma) stratejik bir karar olarak ele alınmalıdır. Çünkü SGN'nin farklı noktalarda konumlanması stok için üretim, siparişe göre üretim ve siparişe göre monte gibi farklı üretim stratejileri ile bağlantılıdır. Malzeme akışı göz önünde alındığında SGN'nin tedarik tarafındaki akışlar tahmin tabanlı olurken, müşteri tarafındaki akışlar müşteri siparişi tabanlı olacaktır. Bu yönüyle SGN stratejik bir stok noktası (ayrıştırma noktası stoku – decoupling point stock) olarak karşımıza çıkmaktadır (Olhager, 2010).

İtme ve çekme yaklaşımları açısında bakıldığında SGN konum olarak itme ve çekme süreçlerinin ayrıldığı noktayı belirtmektedir. Müşteri talebi beklentisiyle işletilen itme süreçleri ölçek ekonomisi, yüksek stokun sağladığı esneklik ve kısa tedarik süreleri sağlamaktadır. Müşteri siparişi ile tetiklenen çekme süreçleri ise cevap verme yeteneği ve müşteri esaslı ürün kişiselleştirmesi gibi avantajlara sahiptir. Dolayısıyla SGN'de mümkün olduğu kadar jenerik halde tutulan ürünler, müşteri yönündeki süreçlerle farklılaştırılarak son ürün haline gelmektedir (Ivanov vd., 2019, s. 146).

3.4.3 Üretim stratejileri (ortamları) ve sipariş girim noktası ilişkisi

Üretim ortamı veya stratejisi çeşitli kaynaklarda müşteri talebini karşılamak için ürünlerin hazır bulunma durumunu tanımlamak için kullanılmaktadır (Benton, 2013, s. 81; Mauergauz, 2016, s. 14). Bu kapsamda sipariş girim noktasının konumu, pazarın gerektirdiği rekabet koşullarına (fiyat, dağıtım hızı, kalite, güvenilirlik ve esneklik) cevap

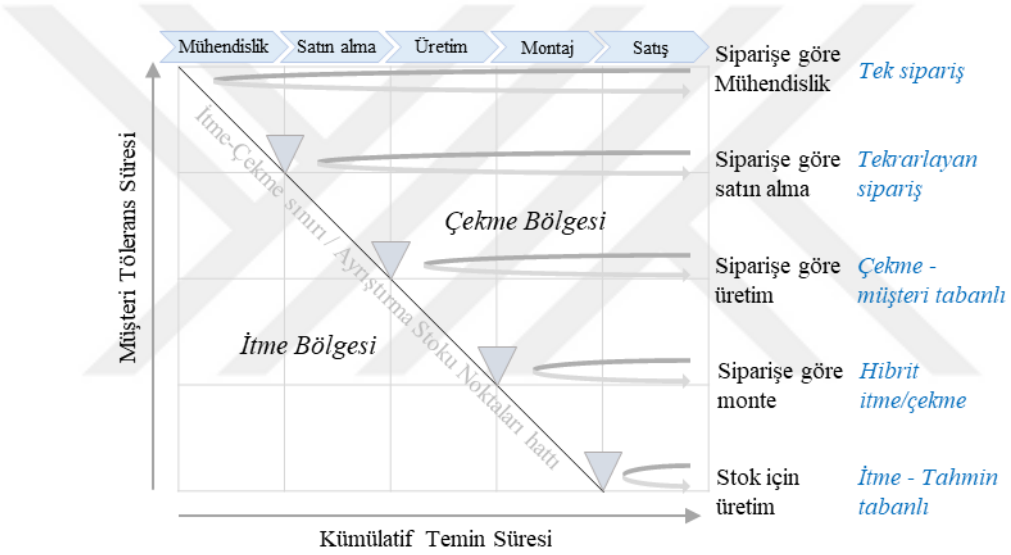
verecek bir üretim stratejisinin (süreçler, kapasite, tesisler ve yapı, dikey entegrasyon, ÜPK ve performans göstergeleri) oluşturulması bakımından önemlidir. SGN'nin stratejik olarak konumlandırılması; pazar, ürün ve üretim özellikleri ile dağıtım süresi ve üretim temin süresi gibi çeşitli faktörler değerlendirilerek yapılmaktadır. Burada SGN konumlandırmayı etkileyen iki temel faktör öne çıkmaktadır: planlama indeksi, yani dağıtım süresinin (müşteri tolerans süresi) üretim süresine oranı ile talebin değişim katsayısı (göreceli talep değişkenliği). Bu iki faktörün değişik seviyelerine göre farklı özelliklerde ürün dağıtım alternatifleri karşımıza çıkmaktadır (Şekil 10) (Olhager, 2003).



Şekil 10. Talep Değişkenlik Katsayısı ve Planlama İndeksine Göre Üretim Stratejileri (Olhager, 2003)

Böylece SGN konumuna göre "stok için üretim", "siparişe göre monte" ve "siparişe göre üretim" olarak üç temel üretim stratejisi belirlenebilmektedir. Talep değişkenlik katsayısının düşük olduğu ve planlama indeksinin > 1 (yani dağıtım süresinin > temin süresinden büyük) olduğu durumda üç stratejinin de kullanılması mümkündür. Normalde bu hücre için piyasaya cevap verme süresi siparişe göre üretime imkân vermektedir. Ancak çok düşük talep değişkenlik katsayısı için ölçek ekonomisinden faydalanma ve üretkenlik sağlama amacıyla stok için üretim veya siparişe göre monte stratejileri de seçilebilmektedir (Olhager, 2003).

Olhager'in (2003), talep değişkenlik katsayısı ve planlama indeksine dayandırdığı Şekil 10'daki üç temel üretim stratejisine, özellik gerektiren proje tipi tek sipariş için "siparişe göre mühendislik" ile tekrarlayan siparişler için "siparişe göre satın alma" üretim ortamları eklenebilir. Bu durumda SGN konumu ve itme-çekme ilişkilerine göre üretim stratejileri**,** Şekil 11'de gösterildiği gibi genel olarak beş başlıkta gruplanabilir (Grando, 2021b, s. 233): (1) Stok için üretim (make-to-stock), (2) Siparişe göre monte etme (assemble-to-order), (3) Siparişe göre üretim (make-to-order), (4) Sipariş göre satın alma (purchase-to-order) ve (5) Sipariş göre mühendislik (engineer-to-order).



Şekil 11. Genel Üretim Stratejileri ve İtme-Çekme İlişkisi (Grando., 2021b, s. 234'ten uyarlanmıştır)

3.4.4 Üretim stratejileri ve ana üretim çizelgesi

Pazarda kabul gören müşteri tolerans süresi, yani dağıtım süresi ile ürünün kümülatif temin süresinin karşılaştırılması sonucuna (temin süresi oranı) pazarın rekabet koşullarına cevap verecek üretim koşullarını sağlayan beş üretim stratejisini belirlenebilmektedir (Şekil 11) (Grando, 2021b, s. 233). Olhager (2012, s. 39), malzeme yönetimi bakımından üç üretim stratejisini esas almaktadır. Çünkü siparişe göre mühendislik ve siparişe göre satın alma, malzeme akışı özellikleriyle zaten siparişe göre üretimin içinde yer almaktadır. Aslında Olhager (2012, s. 39) uygulamada sadece iki uç stratejiye, stok için üretim ve siparişe göre üretim (çünkü siparişe göre monte malzeme akışı bakımından bu

ikisinin arasında yer almaktadır), dikkat çekmektedir. Ancak burada AÜÇ'de değişen etkileri nedeniyle üç temel üretim stratejisi (stok için üretim, siparişe göre monte ve siparişe göre üretim) esas alınacaktır. Aşağıda bu üretim ortamlarının AÜÇ kapsamında farklılaşan özellikleri ve üretim planlamayla ilişkileri özet olarak verilmiştir:

(1) Stok için üretim (make-to-stock, MTS): Genel olarak toplu üretim, düşük birim maliyetler ve yüksek kapasite kullanımı yanı sıra yüksek stoklar kısıtlı üretim esnekliği ile karakterize edilir (Ivanov vd., 2019, s. 146). Üretim, plana göre müşteri siparişi oluşmadan gerçekleşir, dağıtım hazır stoktan olduğundan temin süresi kısadır. Bu üretim ortamında sınırlı sayıda son ürününün birçok bileşen ve hammaddeden üretilmesi söz konusudur (Benton, 2013, s. 63). Talep tahmini ve ÜAÇ, pazar tarafından hemen talep edilen son ürünleri esas alır ve planlar (Grando, 2021b, s. 233).

(2) Siparişe göre monte etme (assemble-to-order, ATO): Müşterinin montajın son aşama işlemlerini bekleyebildiği pazar koşullarında, erteleme ilkesinin sıklıkla uygulandığı ortamdır. Çok sayıda son ürün, farklı özellik ve opsiyonlarla gene birçok bileşen ve alt-montaj parçalarından üretilmektedir. Bu ortamda talep tahmini ve ÜAÇ, montaj parçaları (aynı zamanda ayrıştırma stoku noktası) ve opsiyonları esas alır; son konfigürasyon müşteri talebi ile oluşturulur ve son montaj programı ile planlanır (Benton, 2013, s. 63; Mukhopadhyay, 2015, s. 112; Grando, 2021b, s. 233).

(3) Siparişe göre üretim (make-to-order, MTO): Müşterinin kabul ettiği dağıtım süresi tüm üretim çevrimini kapsayacak düzeydedir, üretim planlaması ve üretim müşteri siparişine dayanır. Bu ortamda çok sayıda son ürün az sayıda bileşenden üretilir. Talep tahmini ve AÜÇ, hammadde ve bileşenlerin tedarikini hedefler. Siparişe göre monteden farklı olarak bu ortam, bileşen ve alt-montaj parçalarının da müşteri talebine göre kişiselleştirilmesine olanak verir. Özellikle dalgalı talep yapısındaki müşteri bazlı ürünler için uygundur. Ayrıştırma stok noktası satın alınan hammadde ve bileşenlerde konumlanır (Benton, 2013, s. 63; Ivanov vd., 2019, s. 147; Grando, 2021b, s. 234).

3.5 İtme-Çekme Esaslı Temel Üretim Planlama ve Kontrol Sistemleri

Malzeme akışının üretim sisteminde veya daha geniş anlamda tedarik zinciri yapısında yönetilmesi itme ve çekme esaslı iki alternatif sisteme dayanmaktadır. İtme, planlama ve

tahmine dayalı olarak akışı yönetirken, çekme sisteminde akış gerçek siparişlerle tetiklenmektedir. Bu iki konseptin temsilcisi olarak iki üretim planlama ve kontrol yaklaşımı teori ve uygulamada yaygın olarak kabul görmektedir. Malzeme akışını sağlamada MRP geleneksel itme esaslı yaklaşımın, bir JIT tekniği olan Kanban ise çekme yaklaşımının temel yöntemleri olarak karşımıza çıkmaktadır (Nahmias ve Olsen, 2015, s. 437).

Sipariş verme karakteristiği itme ve çekmeyi ayıran en temel özelliktir. Çekme sistemi malzeme akışını bir ürünün veya parçanın tüketilmesiyle tetiklenen sipariş verme ile başlatırken, itme sistemi gelecek talep tahmini ile malzeme akışını yönlendirmektedir. İtme-çekme sistemleri bilgi akışı yapısına göre de ayırıcı özellikler gösterir. Merkezi olmayan bir kontrol yapısı sunan çekme sisteminde, malzeme akışını bireysel istasyonlar arasındaki lokal talep bilgisi tetikler. Merkezi kontrol yapısına sahip itme sisteminde ise talep tahmini ve müşteri siparişlerinden oluşan global bilgi kullanılarak üretimin tüm seviyeleri kontrol edilir. Üretimin gerçekleştiği atölye düzeyinde oluşan yarı mamul seviyelerinin kısıtlanması başka bir ayırıcı özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Kanban sisteminde konteyner boyutu yarı mamul seviyesi için kısıt oluştururken, benzeri kısıt taşımayan MRP'de, orijinal planlamanın dışına çıkıldıkça çok fazla miktarda yarı mamul seviyeleri oluşturabilmektedir (Benton, 2013, s. 204).

ÜPK seviyelerine göre MRP ve JIT'in itme ve çekme kapsamları değişebilir. Üretim kontrol faaliyeti seviyesinde, MRP itme, JIT ise çekme sistemi prensiplerini ifade ederken, daha üst seviyelerde MRP ve JIT mutlak itme ve çekme sistemini ifade etmeyebilir. Örneğin bir JIT sistemi uzun dönemli üretim planlama için talep tahminlerini kullanmak zorunda olabilir (Benton, 2013, s. 204). MRP ve JIT sistemleri birbirlerini tamamlayan, daha doğrusu birbirini dışlamayan, ikisinin iyi yanlarını bir araya getiren hibrit yapılar olarak da kullanılabilirler (Karmarkar, 1989).

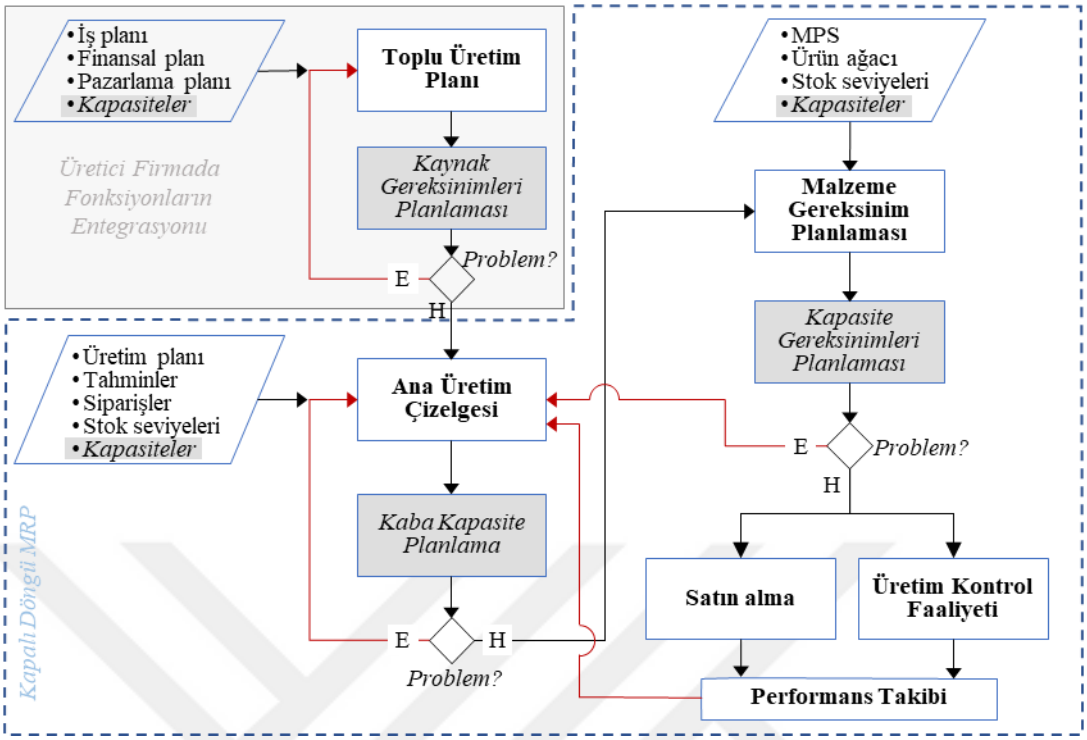
3.5.1 İtme esaslı yaklaşım – üretim kaynakları planlaması (MRPII)

Üretim kaynakları planlaması (Manufacturing Resources Planning – MRPII), malzeme yönetiminde itme prensibi yaklaşımının temsilcisi olarak kabul gören, akademik ve endüstriyel olarak oldukça yaygın kullanımı olan bir ÜPK sistemidir. Yöntem olarak 1970'lerde Orlicky'nin (1975) belirleyici çalışması ile kapsamlı olarak ortaya konan

MRP, zaman içerisinde bilgisayar tabanlı kullanılan daha etkin (Wight, 1984; Plossl, 1994; Ptak ve Smith, 2011) bir ÜPK sistemi haline gelmiştir. Kapasite ihtiyacını gözetmeyen ilk MRP, malzeme gereksinim planının kapasite yeterliliğini geri bildirim olarak raporlayan kapalı döngü MRP'ye dönüşmüştür. Müteakiben 1980'lerden itibaren bütüncül bir yaklaşım sağlayarak üretici firmanın finans, satış ve pazarlama ile üretim süreçlerini stratejik plan ve hedefler kapsamında bir araya getiren üretim kaynakları planlaması (MRPII) ortaya çıkmıştır (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 231).

Günümüz modern kurumsal kaynak planlama (ERP) sistemleri içerisinde MRP temel mantığı geçerliliğini korumaktadır. Çünkü "neye ne kadar ve ne zaman" ihtiyaç duyulduğu sorusuna verilecek temel cevap MRP mantığının işletilmesini gerekli kılmaktadır (Ptak ve Smith, 2011, s. xiv). Bu nedenle bu çalışmada MRPII çerçeve kavram olarak el alınırken malzeme yönetimi açısından MRP kavramı kullanılacak ve esasları açıklanacaktır.

Aşağıda Şekil 12'de hiyerarşik planlama yapısına uygun olarak MRPII genel yapısı verilmiştir. Bu yapısıyla MRPII, üretici firmanın tüm kaynaklarının etkili planlanmasını sağlar. MRPII, firmanın pazarlama ve satış, finans ve üretim bölümleri arasında bütünleşmiş bir anlayışla koordinasyonu sağlayarak üzerinde anlaşılmış ve uygulanabilir bir üretim planı sunar (Chapman vd., 2017, s. 38). Bu yapısıyla MRPII, üretim yapan bir firmanın tüm kaynaklarını etkili olarak planlar. MRPII, AÜÇ seviyesine kadar kapasite, stok durumu ve üretim kontrol faaliyetleri hakkında geri besleme sağlayan kapalı döngü MRP'yi (Şekil 12) üretici firmanın başta finans olmak üzere tüm iş fonksiyonları ile entegre eden bir sistem sunmuştur (Benton, 2013, s. 166). Bir üst seviye planlamada satın alma ve üretim tedariki tarafından karşılanamayan talep yapısının aşağı seviyelerde uygulanabilir bir planla desteklenmesi mümkün olmayacaktır (Ivanov vd., 2019, s. 338). Bu nedenle her seviyede talep ve arzın (tedarik kaynaklarının) dengelenmesi MRPII planlamasının tutarlığı ve başarısı için önemlidir.



Şekil 12. MRPII Genel Çerçevesi (Chapman vd., 2017, s. 86'dan uyarlanmıştır)

3.5.1.1 MRP girdi ve çıktıları

MRP'nin işleyişi; MRP girdileri, süreci ve çıktıları olarak sistem bakışıyla el alınabilir. MRP üç temel girdiye ihtiyaç duyar: (1) AÜÇ, (2) ürün ağacı ve (3) stok durum bilgisi (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 237):

(1) Ana üretim çizelgesi: Detayları Bölüm 3.2.3'te verilen AÜÇ, talep tahmini ve kesinleşen müşteri siparişlerine dayanarak oluşturulan bir üretim programıdır. Söz konusu talebi karşılama için zaman fazlı olarak neyin ne zaman ve ne kadar üretileceği bilgisini taşır.

(2) Ürün ağacı: Bir ürünün üretilmesi için gerekli olan hammadde, bileşen, montaj ve alt-montaj kalemlerinin miktar, üretim süresi ve ürün özellikleri gibi bilgilerdir. Ürün ağacında her bir kalem için asgari olarak gereken miktar ve temin süresi bilgileri ebeveyn-evlat bağlantısı şeklinde tutulur. Bu bilgi MRP sürecinde birbirine bağımlı olan malzeme gereksinimlerinin miktar ve zaman hesaplamasında kullanılır.

(3) Stok durum bilgisi: Eldeki stok miktarları, temin süreleri, emniyet stok seviyeleri, açık siparişler gibi ürün bazında miktar ve zaman boyutlarında bilgilerdir. Ürün ağacı ile uyumlu olması esastır.

MRP, bağımlı talep yapısını esas alan bir ÜPK sistemidir. Üretim ortamında hammaddeler, bileşenler ve montaj parçaları bağımlı talep gören kalemlerdir. Bağımsız talep gören (talebi tahmin edilen) son ürünlerden, ürün ağacı ilişkisiyle tüm kalemler için gereken miktarlar, yukarıdan aşağıya doğru hesaplanarak bağımlı talepler elde edilir (Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 228).

MRP sistemi; ürettiği rapor, çizelge ve ikaz türü çıktılar ile planlamacıların bağımlı talep gören stokları yönetmelerini sağlar (Krajewski vd., 2016). Bu yönüyle bağımlı talep kalemlerinin stok yönetimini de sağlayan MRP (Grando, 2021c, s. 275), planlamacılara esas ve ikincil olarak gruplandırılan iki grup çıktı sağlar:

- Esas Çıktılar: Malzeme gereksinim planı, yani hangi malzeme ne zaman ve ne kadar temin edilecek bilgisi ve bunlardaki değişiklikler esas çıktıyı oluşturur. MRP literatürüyle; planlanan siparişler çizelgeleri ile bunların gerçek siparişlere dönüşmesi için ikazlar, açık (beklenen) siparişlerin iptali veya teslim süresi değişiklik ikazları ve stok düzeyi raporları bu kapsamdaki çıktılardır (Benton, 2013, s. 154).
- İkincil Çıktılar: Hata ikazları ile performansa ilişkin geri besleme sağlayan raporlardır. Geciken siparişler, kullanım miktarları, maliyetler, gerçekleşen çevrim süresi, işlem bilgisi gibi raporlardır. İhtiyaca göre ilave raporlar da doluşturulabilir. Örneğin kapasite planlamayla ilişkili olarak kaynak gereksinimleri raporları (Benton, 2013, s. 154; Krajewski vd., 2016, s. 473).

3.5.1.2 MRP mantığı ve parametreleri

MRP işleyişi ve ilgili parametreleri Tablo 8'de verilmiştir. Bu kapsamda MRP işleyişindeki girdilerden biri olan MRP kayıtlarının güncel tutulması önemlidir. MRP kayıtları ürün ve bileşenlerine ilişkin parti büyüklüğü, temin süreleri gibi bilgilere ilaveten MRP hesaplamalarında kullanılan zaman fazlı şu bilgileri tutar (Krajewski vd., 2016, s. 466): (1) brüt gereksinimler (gross requirements), (2) beklenen siparişler (scheduled receipts), (3) elde kalması planlan stok miktarı (projected on-hand inventory),

(4) planlanan siparişler (planned order receipts) ve (5) verilecek planlı siparişler (planned order releases). Bu bilgiler, MRP kayıtlarında, planlama ufkunun uygun periyotlara ayrılmış her bir zaman dilimi (time bucket) için tutulurlar ve MRP işlemleri ile güncellenirler.

Tablo 8. MRP İşlem Algoritması

A	toplam ürün sayısı
i, j	ürün indeksi (ürün ağacındaki tüm parça/bileşenler için), i = 1, 2, … A
t	zaman dilimi/dönem indeksi, toplam dönem T için t = 0, 1, … T
$GR_{i,t}$	i ürünü için t dönemindeki brüt gereksinim (gross requirements), talep
$I_{i,0}$	i ürününün mevcut (başlangıç) miktarı
$I_{i,t}$	i ürününün t dönemi sonunda elde bulunacak (planlanan, beklenen) miktar (projected on-hand inventory)
$SR_{i,t}$	i ürününün t dönemi içinde stoka eklenecek beklenen sipariş (scheduled receipts)
$ASR_{i,t}$	i ürününün t dönemine kullanım için ayarlanmış beklenen sipariş
$N_{i,t}$	i ürününün t dönemi için net gereksinim (net requirements)
$POR_{i,t}$	i ürününün t dönemi için planlanan sipariş (planned order receipts)
$REL_{i,t}$	i ürününün t dönemi için verilecek planlı sipariş (planned order release)
LLC	ürün ağacı kod seviyesi (low level code) büyüklüğü
BOM(k)	ürün ağacı (bill of material) k kod seviyesindeki parça/bileşenler
$part_i$	i ürünü
Q_i	i ürünü için parti büyüklüğü (lot-size)
LT_i	i ürünü için temin süresi (lead time)
PARENT(i)	ürün ağacında i ürününün birincil üst düğümleri
CHILD(i)	ürün ağacında i ürününün birincil alt düğümleri
$a_{i,j}$	ürün ağacında i ve j ürünlerini temsil eden düğümler arasındaki kenar
$n_{i,j}$	ürün ağacında i ürünü için gereken j ürün miktarı, {i : i ∈ PARENT(j)}

```
1  FOR k = 0 to LLC              // ürün ağacının tüm seviyeleri için
2      FOR part_i ∈ BOM(k)       // k kod seviyesindeki tüm ürünler için
3          FOR t = 1 to T        // tüm zaman dilimleri için
4              I_{i,t} = I_{i,t-1} - GR_{i,t}
5              WHILE I_{i,t} < 0   // beklenen siparişleri kullanarak t dönemi gereksinimi karşıla
6                  beklenen siparişleri tara, varsa I_{i,t} = I_{i,t} + SR_{i,x} yap
7                  beklenen siparişleri ayarla, ASR_{i,t} = ASR_{i,t}+ SR_{i,x}
8                  değişiklik ikazı oluştur, x < t ise ötele, x > t ise hızlandır
9
10             N_{i,t} = min(max(- I_{i,t} , 0), GR_{i,t})
11             IF I_{i,t} < 0   // beklenen siparişler yok veya yetersiz kaldıysa POR yap
12                 IF parti büyüklüğü yöntemi = L4L
13                     POR_{i,t} = N_{i,t}
14                 ELSE
15                     Uygun yöntem ile Q_i belirle
16                     POR_{i,t} = Q_i
17
18                 z = t - LT_i , REL_{i,z} = POR_{i,t}  // temin süresi kadar öne al
19                 FOR part_j ∈ CHILD(i)        // ürünün alt düğümleri için brüt gereksinimleri ata
20                     GR_{j,z} = GR_{j,z} + (n_{i,j} · REL_{i,z} )
```

MRP, planlama ufkunun ilgili periyodu için AÜÇ'de belirtilen son ürünlere ait brüt gereksinimleri esas alır. Brüt gereksinimlerin belirtilen zaman diliminde karşılanabilmesi için ilgili stok kaleminin mevcut miktarı ile o periyotta beklenen sipariş (açık, yani üretim veya satın alma sürecindeki sipariş) toplamından brüt gereksinim miktarı çıkarılarak o dönemin sonunda elde kalması planlan stok miktarı bulunur. Kalan stok negatif ise, yani talebi karşılamaya yetmiyorsa, bu durumda kalan stoku sıfırlayacak kadar (netting) gereken sipariş miktarı net gereksinim olarak hesaplanır.

Planlanan eldeki stok ve net gereksinim formülü, Tablo 8'de verilen notasyon esas alınarak şu şekilde formüle edilebilir (Hopp ve Spearman, 2008, s. 121). Basit gösterim için sadece zaman indeksi alınmıştır.

$$\text{Planlanan eldeki stok}_t = \text{eldeki stok}_{t-1} + \text{beklenen sipariş}_t - \text{brüt gereksinim}_t \quad (3.1)$$

$$(I_t) \qquad (I_{t-1}) \qquad (SR_t) \qquad (GR_t)$$

$$\text{Net Gereksinim } N_t = \min(\max(-I_t, 0), GR_t) \quad (3.2)$$

Net gereksinimler parti büyüklüğü politikasına göre planlanan siparişlere dönüştürülürler. Gereksinimlerin karşılanabilmesi için net gereksinim olan zaman diliminden o stok kaleminin temin süresi kadar ön alınarak planlanan siparişlerden ilgili stok kalemi için verilecek planlı siparişler elde edilir. Verilecek planlı siparişler miktar ve zaman olarak gelecek satın alma ve üretimi işaret ederler. Zamanı gelen, şimdiki zaman dilimindeki verilecek planlı siparişler üretim ve/veya satın alma için serbest bırakılarak beklenen sipariş durumuna geçerler. Ürün ağacının en üst seviyesinden başlayarak işletilen ve MRP patlatma olarak da adlandırılan (explosion) bu yinelemeli hesaplama yöntemi Tablo 8'de detaylı olarak verilmiştir.

MRP sistemlerinde yöneticilerin stok işlemlerini hassas olarak yönetebilmeleri için planlama tedarik süresi, parti büyüklüğü, sabit sipariş miktarı, periyodik sipariş miktarı ve emniyet stok miktarı planlama faktörleri olarak kullanılmaktadır (Krajewski vf., 2016, s. 468).

MRP'ye ilişkin örnek ve ilave açıklamalar için Krajewski vd. (2016, s. 466) ile Tanyaş ve Baskak (2017, s. 255) başvurulabilir.

3.5.2 Çekme esaslı yaklaşım – tam zamanında üretim (JIT) ve kanban

Tedarik Zinciri Yönetimi Derneği (ASCM) tam zamanında (Just-In-Time, JIT) yaklaşımını, "üretkenliğin sürekli geliştirilmesi ve planlı olarak tüm israfların ortadan kaldırılmasına dayanan bir üretim felsefesi" olarak ifade etmektedir (Pittman ve Atwater, 2022, s. 102). Genel olarak bir yönetim felsefesi olarak da ele alınan JIT, üretimin tüm aşamalarında sürekli iyileştirmeyi öngörür, israf gördüğü her şeyi hedef alır. Böylece JIT, hammaddeden son ürüne kadar tüm malzeme seviyelerinde stok düzeylerini azaltmada etkin bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Mukhopadhyay, 2015, s. 232).

JIT, gereken ne ise sadece onu gereken zamanda ve gerektiği kadar üretir. Gerekenin üzerindeki her şey israf olarak kabul edilir. JIT genellikle aynı veya benzer kalemlerin üretildiği tekrarlı (repetitive) üretimde ve düşük hacimlerde uygulanır. Üretim ve transferlerde parti büyüklükleri ile bekleme ve transfer sürelerinin minimum olması önemlidir. Bu maksatla düşük miktarlı ama birden çok transfer yapılabilir. Az ve görünür stok ile daha iyi kalite kontrolü ve problemlerin süratle giderilmesi sağlanır. Nihai amaç temin sürelerini kısaltarak, stok yatırımını en aza indirmektir (Jacobs ve Chase, 2018, s. 359).

Literatürde genellikle tam zamanında (JIT) üretim, yalın (Lean) üretim ve sıfır stok gibi kavramlarla eş anlamlı olarak da kullanılmakta ve temelde mümkün olan en az stok seviyesiyle malzeme akışının yönetilmesini ifade etmektedir (Nahmias ve Olsen, 2015, s. 468). JIT üretim ortamlarında; stokların, temin sürelerinin, atıkların ve iş tekrarlarının azaltılmasını sağlarken, çizelge ve programlara uyumu, kaliteyi, esnekliği ve kaynakların kullanımını artırmaktadır (Akturk ve Erhun, 1999). Tedarik Zinciri Yönetimi Derneği JIT'in temel elemanlarını şu şekilde sıralar:

- Sadece gereken miktarda stoka gereken zamanda sahip olmak,
- Kaliteyi sıfır hataya kadar geliştirmek,
- Hazırlık ve bekleme süreleri ile parti büyüklüklerini azalarak temin sürelerini azaltmak,
- Kademeli olarak tüm faaliyetleri gözden geçirmek,
- Tüm faaliyetleri en az maliyetle gerçekleştirmek. (Pittman ve Atwater, 2022, s. 102)

3.5.2.1 Kanban sistemi genel esasları

JIT'in, üretime getirdiği yaklaşımın başarılı olmasında JIT'in üretim kontrol tekniği olan kanban sistemi önemli bir yere sahiptir. Kanban, üretim ortamlarında JIT kurulumunda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Kelime olarak Japonca'da "kart" veya "bilet" manasına gelen kanban, Toyota'da JIT kurulumunda manuel ve görsel bilgi sağlamak maksadıyla geliştirilmiştir (Nahmias ve Olsen, 2015, s. 468).

Kartlar, kanban sistemlerinde belirli miktardaki ürünün taşınması veya üretilmesi başlatmak için kullanılırlar. Bu yönüyle kanban sistemi JIT'in atölye düzeyinde kontrol ve bilgi işleme bileşeni olarak karşımıza çıkmaktadır (Akturk ve Erhun, 1999). Kanban (kartı) parçaya ait numara ve tanımlama bilgileri ile kullanıldığı konteyner tipi ve iş istasyonu gibi bilgileri içerir. Kartların kullanımından dolayı kanban vb. benzeri sistemler genel olarak kart tabanlı kontrol sistemleri adıyla da gruplandırılmaktadır (Thurer, Stevenson, ve Protzman, 2016, s. 25).

Kanban üretim sistemi basit görsel sinyaller kullanarak istasyonlar arasında malzeme akışını kontrol eder. Bir son ürünün veya belirli parti büyüklüğündeki son ürünün kullanılması ile malzeme ve bileşenlerin hareketini başlatan sipariş verilir. Bu maksatla kanban bir taşıma/depolama konteynerine (kabına) takılarak belirli bir üretim faaliyetini sinyal vererek başlatır. Böylece kanban sistemi malzemeleri, bir sonraki üretim noktasına sadece ihtiyaç duyulduğunda çeker. Bu noktada kanbanın işleyişi, sabit siparişli stok sistemine benzerlik gösterir. Sabit siparişli stok sisteminde, stok seviyesi yeniden sipariş seviyesinin altına düştüğünde Q miktarında sipariş oluşturulur. Kanban sinyalinin verilmesi ile benzer olan yeniden sipariş noktası, temin süresince oluşacak talebe göre belirlenir (Benton, 2013, s. 206).

Kanban sisteminde her konteynere ait bir kanban bulunur ve konteyner, söz konusu malzemenin günlük kullanımının belirli bir yüzdesi kadar doldurulur. Konteynerdeki parçalar tüketildiğinde, kullanan istasyon önce kartı işaret panosuna bırakır, sonra konteyner bekleme alanına konur. Konteyner üzerinde kanban takılı iken boş olarak bekleme alanına asla bırakılmaz. İşaret panosundaki kanban, tüketilen parça için üretim ikazıdır. Üretim istasyonu bu ikaz ile ürettiği parçaları konteynere koyarak kanbanı tekrardan konteynere takar ve konteyneri bekleme alanına bırakır. Kullanan istasyon

kanban takılı konteyneri alarak döngüyü devam ettirir. Üreten istasyon kanban ikazı olmadan kullanan istasyon için üretim yapıp ona göndermez. Burada kullanan istasyonun kanban ile parçaları çekmesi esastır. Sadece hatasız üretilmiş parçaların kullanan istasyona aktarılması ve üretim miktarının kanbanda belirtileni aşmaması sistemin işleyişi için önemlidir. (Krajewski vd., 2016, s. 243).

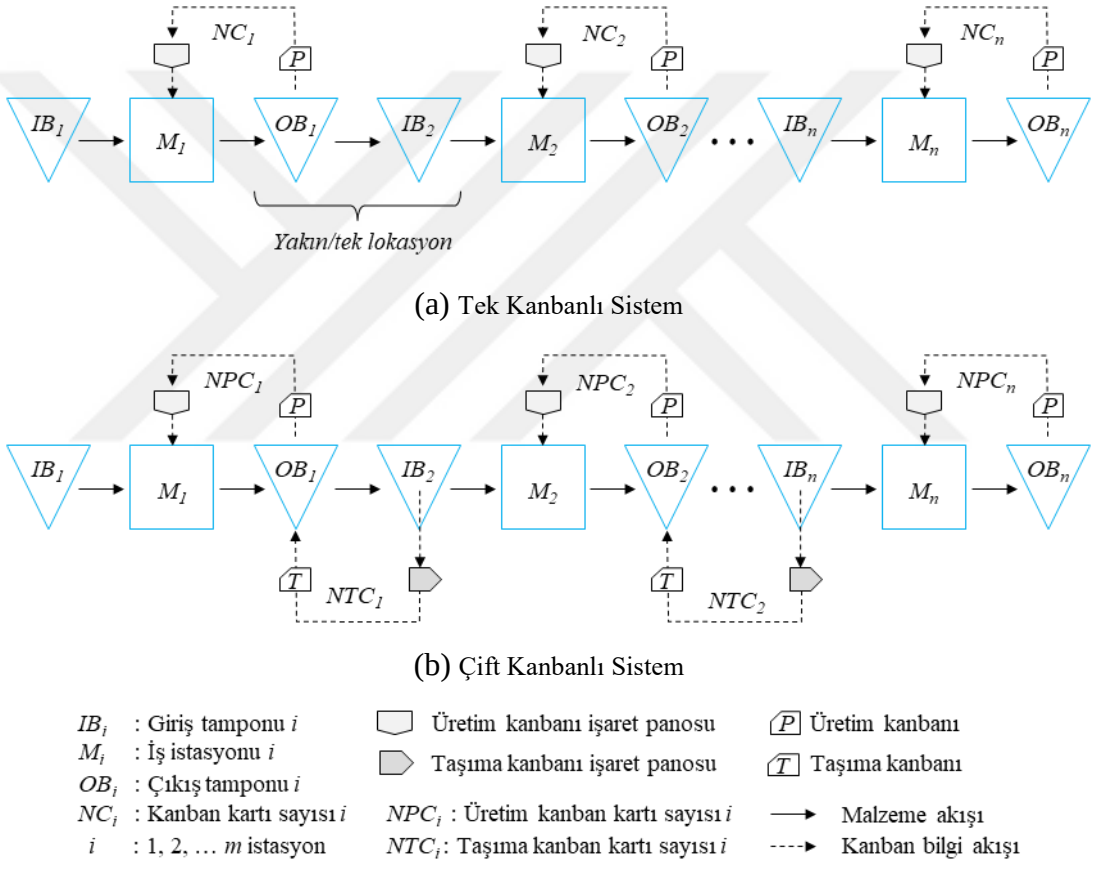
3.5.2.2 Tek ve çift kanbanlı sistemler

Kanban sistemleri yaygın olarak tek kanbanlı (single kanban) ve çift kanbanlı (dual kanban) sistemler olarak sınıflandırılmaktadır (González-R, Framinan, ve Pierreval, 2012). Kart olarak muhtelif sayıda kanban çeşidi olmakla birlikte, taşıma (withdrawal) ve üretim (production) kanbanları uygulamada en yaygın olarak kullanılan kanban çeşitleridir (Nahmias ve Olsen, 2015, s. 468). Taşıma kanbanı bir önceki istasyondan bulunulan noktaya gerekli malzemenin gelmesi için kullanılırken, üretim kanbanı belirlenen parti miktarı kadar ilave üretim sinyali oluşturmaktadır. Bir önceki bölümde genel işleyişi anlatılan kanban sistemi genel esaslarıyla tek kanbanlı sistem olarak ele alınabilir. Genel esasları bozmadan tek kanbanlı sistemlerdeki kanban çeşidini, "ihtiyacım var" sinyali olarak yorumlamak kanban çeşitlerinin anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Başka bir deyişle ihtiyaç olmadan taşıma veya üretim yapılmayacaktır (Thurer vd., 2020, s. 88).

Tek kanban sisteminde birbirini takip eden iş istasyonları arasında tek çeşit kanban ile önceki istasyondan ihtiyaç duyulan malzeme akışı başlatılır. Şekil 13.(a)'da tek kartlı kanban sistemi Gonzales-R ve diğerlerinden (2012) uyarlanarak jenerik biçimde verilmiştir. Bu yapıda, önceki istasyonun çıkış tamponu ile sonrakinin giriş tamponu aynı yerde veya fiziki olarak çok yakın konumlanırlar. Mantıksal olarak ikisi arasındaki akış anlıktır ve tek bir tampon olarak düşünülebilir. Sonra gelen istasyon, örneğin M_2, bu alandan (IB_1 - OB_2) bir konteyner aldığında üzerindeki üretim kanbanı M_1 işaret panosuna takılarak M_1 istasyonuna, kullanılan konteynerin ikmali için ikaz üretir. İkmali yapılan konteyner üzerine üretim kanbanı takılarak tekrar IB_1 - OB_2 tampon alanına konulur.

Çift kanbanlı sistemde ise (Şekil 13.(b)) üretim ve taşıma kanbanları istasyonlar arasındaki malzeme akışını kontrol eder. Bu sefer istasyonlar fiziki olarak birbirinden ayrıdır ve aralarında anlık malzeme akışının sağlanması uygun değildir. Giriş

tamponlarındaki konteynerlerde taşıma kanbanı, çıkış tamponundakilerde ise üretim kanbanı takılıdır. Bir istasyonun giriş tamponunda, örneğin IB_2, bir konteyner kullanıldığında, üzerindeki taşıma kanbanı M_2 taşıma panosuna konur. Periyodik olarak veya taşınacak kanban sayısı belli bir sayıya ulaştığında (González-R vd., 2012) taşıma kartında belirtilen malzeme önceki istasyonun çıkış tamponunda (OB_1) bulunur. Bulunan konteynerin üzerindeki üretim kartı yerine getirilen taşıma kartı takılarak konteyner sonraki istasyona (M_2) taşınır. Çıkarılan üretim kartı ise ait olduğu istasyonun (M_1) üretim panosuna konularak ikmal döngüsünü devam ettirir (Hopp ve Spearman, 2008, s. 164).



Şekil 13. Tek ve Çift Kanban Sistemleri (González-R vd., 2012'den uyarlanmıştır)

3.5.2.3 Kanban parametre ve değişkenleri

Kanban sistemlerinde temel kontrol parametresi her istasyondaki kanban sayısıdır (Hopp ve Spearman, 2008, s. 164). İstasyonlardaki kanban sayısı, başka bir deyişle konteyner adedi, o istasyondaki yarı mamul seviyesi için etkili bir üst sınır teşkil etmektedir.

İstasyonlardaki üretim ve taşıma kartları adetlerinin ayarlanması, planlamacılara üretim sistemindeki malzeme akışını istedikleri zaman kontrol etme imkânı verir (Krajewski vd., 2016, s. 244).

Kanban sayısının yanında konteyner boyutu, emniyet stoku düzeyi, sipariş aralığı kanban tasarımında kullanılan değişkenler olarak görülmektedir. Ayrıca talep, işlem ve hazırlık süreleri, temin süreleri diğer ÜPK sistemlerinde olduğu gibi kullanılan parametrelerdir. Taşıma kanbanı ile malzeme akışında anlık hareket, sabit taşıma döngüsü veya sabit sipariş seviyesi parametreleri kontrol politikaları olarak belirlenmesi gereken hususlardır (Akturk ve Erhun, 1999).

Temel kontrol parametresi olan ve sistemde izin verilen stok düzeyini belirleyen kanban sayısı, Krajewski ve diğerlerinin (2016, s. 244) gösterim ve formülasyonu ile şu şekilde hesaplanmaktadır:

Yarı mamul (WIP) = [ortalama talep oranı x bir konteynerin sistemdeki ortalama süresi] + emniyet stoku

$$NC = \frac{\bar{d}(\bar{w} + \bar{p})(1 + \alpha)}{SC} \tag{3.3}$$

Eşitlik (3.3)'te kullanılan semboller aşağıdadır:

NC = kanban adedi, yani ilgili parça için konteyner adedi
$\bar{d}$ = birim zamanda parça için ortalama talep
$\bar{w}$ = malzeme hareketi dahil üretimde bir konteynerin ortalama bekleme süresi
$\bar{p}$ = bir konteynerin ortalama işlem süresi
SC = konteynerdeki parça adedi
α = emniyet stoğu katsayısı

Planlamacılar Eşitlik (3.3)'teki SC ile üretimdeki parti büyüklüğünü kontrol ederken, α ile de emniyet stoğu miktarını ayarlayabilirler (Krajewski vd., 2016, s. 244). Ayrıca kanban ana mantığındaki yarı mamul seviyesini kısıtlayan bakış doğrultusunda, üretim sistemdeki her aşamadaki (iş istasyonlarındaki) yarı mamul seviyesi genel bir karar noktası olarak ele alınabilir.

3.6 Kısıtların Yönetimi – Kısıtlar Teorisi (TOC)

Kısıtlar Teorisi (TOC - Theory of Constraints), bir firmanın amacına ulaşmasına engel olan kısıtları belirlemeyi ve üstesinden gelmeyi hedefleyen bir yönetim yaklaşımıdır. Firmanın karlılığını artırmasına ve kaynaklarını etkin kullanmasına engel olan kısıtlara odaklanır. Böylelikle TOC, tüm sistem boyunca malzeme akışlarını hızlandırarak karlılığı artırır. Büyük resme odaklanarak sistem genelinde darboğazların yönetilmesini sağlar (Krajewski, Malhotra, ve Ritzman., 2016).

Esasları yönetim danışmanı olan Dr. Eliyahu M. Goldratt tarafından oluşturulan TOC, ilk olarak ünlü iş romanı "Amaç (The Goal)" (Goldratt ve Cox, 1984) ile duyurulmuştur. Her sistemin performansını etkileyen en az bir tane darboğaz (bottleneck) kısıt olduğundan hareketle, TOC bu darboğazı temel alarak sistemin geliştirilmesini öngörür. Darboğaz oluşturan süreçle ilgili operasyonları geliştirerek üretim çıktısının (throughput) artırılması, stokların ve operasyonel giderlerin azaltılmasını hedefler. Bu kapsamda üretim çıktısı, stok ve operasyonel giderlerin ölçümü firmanın kâr "amacının" ölçülmesi için esastır (Gupta ve Snyder, 2009). Goldratt sürekli gelişim ve darboğazların yönetimi için beş ana esas (odak noktası) belirlemiştir (Goldratt ve Cox, 2004, s. 307): (1) sistemdeki darboğazı belirle, (2) darboğazın nasıl işletileceğinin kararlaştır/optimize et, (3) sistemdeki her şeyi önceki adımdaki kararla uyumlu hale getir, (4) darboğaz akışını geliştir (5) darboğaz değiştiğinde, adım 1'e dönerek sürekli gelişime devam et.

Goldratt, firmaların temel amacını para kazanmak olarak ifade eder. Ancak bu şekilde zenginleşen bir firma diğer amaçlarını da takip edebilecektir. Bir firmanın para kazanma performansı üç finansal gösterge ile ölçülebilir: (1) net kâr, (2) yatırım geri dönüş oranı ve (3) nakit akışı. Bu üç finansal gösterge aynı anda kullanıldığında geçerli performans ölçümü sağlamaktadır. Stratejik seviyelerde kullanılabilen bu finansal performans göstergeleri, operasyonel seviyede (1) çıktı (throughput), (2) stok ve (3) faaliyet giderleri olarak ölçülebilmektedir (Goldratt ve Cox, 1984, aktaran Jacobs ve Chase, 2018, s. 625).

Altı Sigma ve Yalın Üretim de TOC gibi sürekli gelişim konseptini benimseyen yaklaşımlardır. Aralarındaki en belirgin fark Altı Sigma ve Yalın Üretim maliyetleri azaltmak için bir sürecin her adımında değişkenliği ve israfı kontrol ederken; TOC, bunu sadece beş ana esas kapsamında yönettiği darboğaz olan adımda uygular. Böylece

performansı engelleyen en zayıf adımın etkin yönetimiyle sistemin geneli için daha iyi performans elde etmeyi hedefler (Jacobs ve Chase, 2018, s. 624).

Kısıtlar teorisinin üretim planlama ve kontrol bakışında yukarda bahsedilen beş odak noktası esas temeldir. Bunun yanında TOC, planlama ile uygulamanın farkını gözeten bir yaklaşım da ortaya koyar. Deterministik koşullarda yapılan planlamanın, uygulama esnasında beklenmeyen etkilere maruz kalabileceğini öngörür. Bu nedenle tampon yönetimi; özellikle belirsizlik altında planlamanın bir parçasıdır ve planın uygulanmasında TOC'nin kontrol mekanizması olarak ortaya konur. Son olarak TOC, üretim faaliyetlerinde Henry Ford'un montaj hattı ile Taichii Ohno'nun Toyota üretim sistemi (kanban) yaklaşımında olduğu gibi malzeme akışının etkin olmasına odaklanır (Schragenheim, 2010, s. 213).

3.6.1.1 Davul-tampon-ip (drum-buffer-rope - DBR) yöntemi

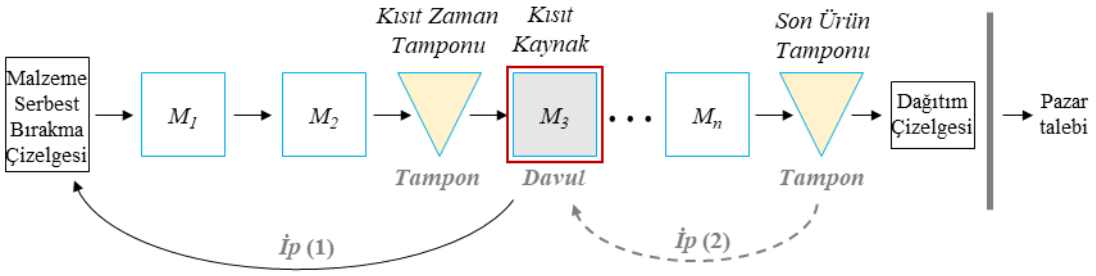
Davul-Tampon-İp (Drum-Buffer-Rope - DBR), TOC prensiplerinin uygulanmasını sağlayan bir üretim planlama ve kontrol tekniğidir. DBR'ın bir ÜPK aracı olarak kullanımı, ticari bir ürün olan Optimize Üretim Teknolojisi (Optimized Production Technology - OPT) yazılımı içerisinde görülebilir (Belvedere, 2021, s. 314).

Tarihsel olarak bakıldığında OPT yazılımı, TOC'nin fikir babası olan Goldratt'ın da aralarında bulunduğu bir ekip tarafından 1970'lerin sonlarında atölye düzeyinde bilgisayarlı çizelgeleme amacıyla geliştirilmiştir (Goldratt E. M., 1988). Goldratt (1988) OPT yazılımını, başlangıçta sistemim tüm aşamaları için çizelgeleme yapan otomatize bir kanban yazılımı olarak tanımlar. Çok detaylı planlama yapan OPT, "sınırlı kapasite çizelgeleme" sistemi olarak "sınırsız kapasite çizelgeleme" yaklaşımını benimseyen MRPII'nin karşısında yer almıştır (Schragenheim, 2010, s. 212). Daha sonra TOC prensipleri tam olarak ortaya konulunca (Goldratt ve Cox, 1984), ana mantık olan sistemdeki darboğazın yönetilmesi esas alan yaklaşım DBR ile ortaya konularak OPT yazılımına eklenmiştir.

DBR işleyişine geçmeden üretim ortamında darboğaz ve kapasite kısıtlı kaynak (iş istasyonu) tanımlarını netleştirmek gerekir. Goldratt darboğaz kaynağı "kapasitesi, üzerine yüklenen talebe eşit veya daha az olan herhangi bir kaynak" (Goldratt ve Cox,

2004, s. 145)" olarak tanımlar. Bu durumda kapasitesi talepten yüksek olanlar darboğaz olmayan kaynak olmaktadır. Goldratt, kapasite kısıtlı kaynağı darboğaz olarak adlandırmaz. Kapasite kısıtlı kaynak, kullanım seviyesi kapasitesine yakın olan ve gelen işlerin sırasına göre darboğaz olabilen kaynaklardır (Goldratt ve Cox, 2004, s. 284). Yani, kapasite kısıtlı kaynaklarda boşta kapasite olabilmekte, dikkatli çizelgeleme yapılmadığında bunlar darboğaza dönüşebilmektedirler. DBR kapsamında genel olarak, anlam olarak farklı vurgu gerektirmedikçe iki terimin yerine "kısıt" terimi de (örneğin kısıt kaynak, sistem kısıtı vb.) eş anlamlı kullanılabilmektedir.

Kısıtlar teorisi prensipleri doğrultusunda DBR, sistemin üretim çıktı miktarını talebe uyumlu olarak sağlarken stok ve operasyonel maliyetlerin azaltılmasını sağlar. DBR'ın ortaya koyduğu çözüm üç temel husus içermektedir (Şekil 14). İlki, kısıtın belirlenerek sadece bu kısıt kaynağın çizelgelenmesi ile oluşturulan "davul" (drum) kavramıdır. Davul, kısıt kaynağın optimize edilmiş detaylı bir çizelgesidir. Böylece davul (çizelgeleme) ile sistemin akış ritmi belirlenmiş olur, diğer kaynaklar (istasyonlar) bu ritme göre çalışırlar. İkinci kavram ise kısıt kaynağın akışının azalmasını önlemek için kaynağın önünde zaman olarak kullanılan "tampon"dur (buffer). Kısıt zaman tamponu, kısıt olan istasyona gelecek malzeme akışındaki gecikmelere karşı akışı korur. Burada, kısıt kaynakta kullanılacak malzemenin kaynağın çalışmaya başlayacağı zamandan bir zaman tamponu kadar önce bırakılması esastır. DBR, son ürün noktasında müşteriye akışı korumak için de zaman tamponu kullanabilir. Üçüncü kavram ise üretime girecek hammadde planlamasını sağlayan "ip"tir (rope). Sadece kısıt kaynak için yapılan detaylı çizelgelemeye göre belirlenmiş siparişlerin sisteme bırakılmasını ip mantığı sağlar. Başka bir deyişle gerekli olmayan siparişler üretime bırakılmaz, böylece gereksiz fazla ara ürün oluşmaz (Belvedere, 2021, s. 315; Schragenheim, 2010, s. 212).



Şekil 14. Örnek DBR Sistemi (Jacobs ve Chase, 2018, s. 634'ten uyarlanmıştır)

Davul, DBR işleyişinde sistemin üretim çıktı oranının kısıtlar ve pazar talebi dikkate alınarak belirlendiği bir kontrol noktasıdır. Talebe uygun olarak kısıt kaynakta neyin yapılacağı kesin olarak çizelgelenir. İş sıraları ve parti büyüklükleri ayrıca karar verilecek hususlardır. Eğer davul sadece dağıtım tamponunda olsaydı bu durumda çizelgeleme MRP'de kullanılan ana üretim çizelgesi ile aynı olurdu (Caspari ve Caspari, 2004, s. 175) Tampon, öngörülemeyen nedenlerle meydana gelebilecek kaynak kesintilerine karşı, yapılan planlamalara eklenen güvenlik süresidir. DBR, tüm görevleri tam zamanında planlama yerine pazar talebine uygun ürün akışını daha güvenilir olarak sağlayacak bir yaklaşım benimser. Başka deyişle talebe uygun olarak tüm sistemin tam zamanında çalışması sağlanır (Srikanth, 2010, s. 186).

İp, tüm bu yapı içerisinde davul ile oluşturulan çizelgelemeye uygun olarak sistemdeki tüm aktiviteler ile iletişimi sağlayarak akışın kontrollünü yapar. Tüm kaynakların doğru zamanda ve doğru sıradaki işi yapmaları için DBR sadece doğru iş için gereken malzemenin var olmasını sağlar. Şekil 14'te birinci ip bırakılacak malzemeyi düzenlerken, ikinci ip dağıtım tamponundan davula bağlayarak kısıt kaynağın çıktısını (davul ritmi) artırır veya azaltır (Jacobs ve Chase, 2018, s. 634). Mantıksal olarak ip uzunluğu bir kısıt zaman tamponu kadardır. İp mantığının bu kapsamda uygulanması için sistemdeki kontrol noktalarına hangi zaman diliminde hangi sırayla neyin serbest bırakılacağını belirten detaylı çizelgelemeler sağlanır (Srikanth, 2010, s. 189).

Başlangıç tampon boyutu istatistiki olarak sistemdeki her üretim aktivitesinin değişkenliğine ve geçmiş verilere bakılarak, kısıt kaynağın kesintisiz çalışmasını sağlayacak tarzda belirlenebilir (Jacobs ve Chase, 2018, s. 633). Her ürün için temin

süresi ve bunun değişkenliğine göre farklı tampon boyutu olabileceği gibi, temin sürelerinin birbirlerine yakın olması durumunda tek bir tampon boyutu da kullanılabilir (Schragenheim ve Dettmer, 2001, s. 152). Goldratt'a (2009) göre optimum tampon boyutunu aramaktansa hemen kullanılacak bir boyuttaki tampon başlangıç için yeterli olacaktır. Bu maksatla Goldratt (2009), başlangıç tampon boyutu olarak, sürecin başından kısıt kaynağa kadar olan mevcut temin süresinin yarısı kadar bir miktarın uygun olacağı ifade eder ve Srikanth (2010, s. 188) geniş tecrübelere dayalı olarak birçok üretim ortamı için bu oranın yeterli olduğunu belirtir. Burada kesinlikten ziyade süratle kullanılabilecek koruyucu bir tampon oluşturmak ön plandadır. Çünkü başlangıç tampon boyutları, daha sonra tampon yönetimi kapsamında süratle doğru boyuta ayarlanacaktır (Blackstone, 2010, s. 162).

3.6.1.2 DBR tampon yönetimi

DBR yöntemi, sistemin üretim çıktısı ile stok ve ilgili maliyetlerini gözeterek çizelgelenmiş bir plan ortaya koyar. Kısıt kaynağın tam kullanımını sağlayan bu planın uygulanma safhasını takip etmek ve gerekli kontrolleri sağlamak tampon yönetimi ile mümkündür. DBR tamponunun bir zaman tamponu olduğunun kavranması tampon yönetiminin doğru anlaşılması için önemlidir. Bu süre, malzemenin üretim için bırakılmasında kısıt kaynağa kadar olan işlem sürelerini kapsayacak şekilde emniyet sürelerini de göz önüne alan bir planlama unsuru olarak da algılanabilir. Şekil 14'te kısıt kaynak ile malzeme girişi arasındaki alanı kısıt tamponu kontrol ederken, kısıt kaynakla ile müşteri (pazar) arasındaki alanı dağıtım tamponu kontrol etmektedir. (Jodlbauer ve Huber, 2008). Tamponun sağladığı güvenlik seviyesinin ne ölçüde çalıştığı ve kısıt kaynağın kullanım planındaki sapmaların sürekli ölçülmesi ve düzeltilmesi gereklidir. Çünkü tampon kullanımı düzeltici tedbirlerin gerekliliğini azaltsa da tamamen ortadan kaldırmaz (Srikanth, 2010, s. 195).

Tampon yönetimi, planlama aşamasında oluşturulan zaman tamponunu yeşil (bölge-3), sarı (bölge-2) ve kırmızı (bölge-1) bölge (zone) olmak üzere üç eşit parçaya böler. Zaman tamponu malzeme akışının başlangıcından kısıt kaynağa kadar olan kısma ait tahmini işlem sürelerinin tamamı idi. Bu zaman tamponu, DBR mantığında aslında ip boyunu belirler. İp ile hammaddelerin üretime başlama zamanları davulun, yani kısıt kaynağın

üretim hızına bağlanmış olur. Böylece akışı başlayan malzemenin kalan süresinin, zaman tamponunun hangi bölgesine karşılık geldiği hesaplanarak takibi yapılır. Kısıt kaynağa ulaşmayan malzeme, bulunduğu bölgenin gerektirdiği öncelik kategorisine göre işlem görür. Akışa başlayan malzeme doğal olarak yeşil bölgede bulunur ve işlem gerektirmez. Sarı bölgedeki malzemelerin ise hangi fiziki lokasyonda oldukları belirlenir ve sadece takibe alınırlar, başka bir işlem yapılması gerekmez. Ancak kırmızı bölgede olan ve hala kısıt kaynağa ulaşmamış olan malzemeye ait siparişin, teslim süresini kaçırma olasılığı yükseldiğinden hızlandırılması için tedbir alınır (Schragenheim vd., 2009, s. 13-15).

Bir üretim partisinin atölye düzeyinde ilerlemesini kontrol etmek ve zaman tamponunun ne kadar kullanıldığı anlamak için DBR, "tampon durumu" (buffer status) kavramını gösterge olarak kullanır. Bir üretim partisinin tampon durumu, partinin kısıt (veya dağıtım) tamponuna işlem için teslim tarihine kalan süre ile zaman tamponu boyutunun aşağıdaki formüldeki gibi kullanılmasıyla hesaplanır (Schragenheim vd., 2009, s. 13-15).

Tampon durumu (%) = [Zaman tamponu - Kalan süre] x 100/Zaman tamponu (3.4)

Zaman tamponu bölgelerinin her biri tamponun %33.33'üne karşılık gelmektedir. Dolayısıyla yüzde olarak 0-33.33 yeşil bölge, 33.34-66.66 sarı bölge ve 66.67-100.00 kırmızı bölge tampon durumunu gösterecektir.

Tampon boyutu, siparişlerin çoğu için hızlandırma gerektirmeden tamamlanmasını sağlayacak büyüklükte olmalıdır. Tampon boyutunun ayarlanması için kırmızı bölgede görülen sipariş sayısı esas alınabilir. Bu bölgede çok sayıda sipariş saptanması tamponun boyutunun olması gerekenden küçük olduğunu, hiç sipariş saptanmaması ise tamponun olması gerekenden büyük olduğunu gösterir. Bu durumda gerekli ayarlamalar tecrübi olarak yapılır ve tampon yönetimi devam eder. (Caspari ve Caspari, 2004, s. 180).

4. METODOLOJİ

Bu bölümde tezin ele aldığı problemi çözmek için kullanacağı araştırma yöntemi detaylı olarak sunulacaktır. Öncelikle araştırma problemi ile çözümü için çalışmayı yönlendirecek araştırma soruları (AS) ifade edilecektir. Daha sonra araştırma soruları doğrultusunda çalışmanın amacını gerçekleştirecek araştırma modeli sunulacaktır. Bu kapsamda sırasıyla kesikli olay simülasyonu (KOS) (Discrete Event Simulation - DES), deney tasarımları (Design of Experiments - DoE) ve ABC-XYZ analizlerinin temel esasları ve kullanımı açıklanacak. Sonrasında yaklaşım ve tasarım boyutlarıyla araştırmanın aşamaları detaylı olarak.

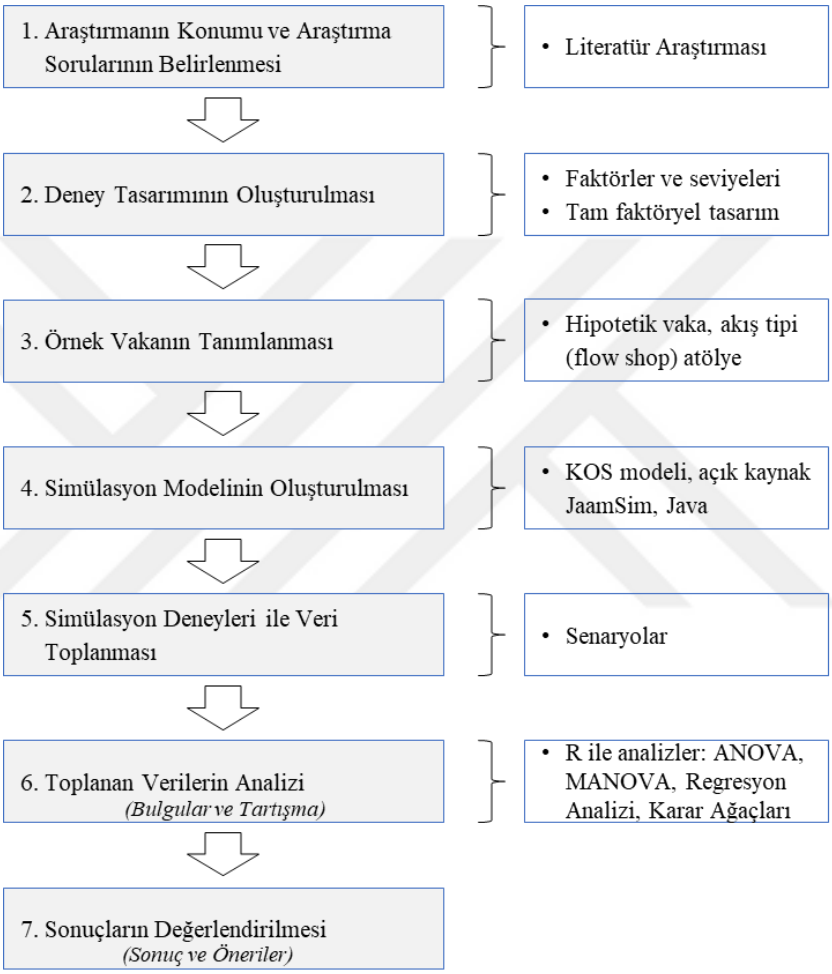
4.1 Araştırma Modeli

Çalışma, özünde model tabanlı kantitatif araştırma (quantitative model-driven research) yaklaşımı esas alınarak yürütülecektir. Bu kapsamda; ele alınan problem ve araştırma sorularının cevaplanması için DDMRP'nin modellendiği kesik olay simülasyonu ile desteklenen tam faktöryel deney tasarımı araştırma modeli olarak benimsenmiştir. Söz konusu yaklaşımın çalışmada uygulanmasını gösteren aşamalar Şekil 15'te verilmiştir.

Reiner (2005, s. 435), tedarik zinciri yönetimini teorik olarak geliştirmek için ampirik verilere dayanan model tabanlı kantitatif araştırmanın önemine dikkat çekmektedir. Model tabanlı kantitatif amprik araştırmada, gerçek olgu ve gözlemleri doğru yansıtan modeller kullanılarak amprik bulgu ve ölçümler elde edilir. Simülasyon modelleri bu manada çok boyutlu ve karmaşık ilişkilerin incelenmesiyle teoriyi geliştirme imkanı sunmaktadır. Reiner (2005) bunu şu şekilde ifade etmektedir: "*Model tabanlı kantitatif amprik çalışmalar, kontrol ve performans değişkenleri arasındaki nedensel ilişkilerin modellerini üretirler. Bu mantıksal pozitivist/ampirist yaklaşım, mantıksal analiz için olguyu bağlamdan izole eder. Bu modeller daha sonra analiz veya test edilirler*" (s. 435).

Bilgisayar simülasyonu, üretim faaliyetlerinin yönetimi ve tedarik zinciri yönetimi alanlarında oldukça yaygın kullanılan kantitatif yaklaşımı esas alan bir araştırma yöntemidir (Shafer ve Smunt, 2004; Bertrand ve Fransoo, 2002). Bir sistemin davranışının zamanla değişimi simülasyon modelleri kurularak incelenir. Lojistik ve

üretim planlamada optimal parametre ve yöntemlerin belirlenmesinde simülasyon ve optimizasyon sıklıkla kullanılmaktadır (Hubl ve Fischer, 2017). Ancak çok sayıda parametre ve değişkenle artan problem boyutu ve üretim ortamlarının tabi olduğu değişkenliğin modele dahil edilebilmesi çoğunlukla simülasyonu gerektirmektedir (González-R vd., 2012).



Şekil 15. Araştırmanın Aşamaları

Jonker ve Pennink'in (2010) ifade ettiği gibi "Gerçeklik farklı yollarla, farklı bakış açısı ve amaçlarla bilinebilir. Bu kapsamda bir araştırmacının temel yaklaşımını, gerçekliği ve araştırmasını ele alış şekli oluşturur" (s. 26). Çalışmada benimsenen yaklaşımda gerçeklik, kavramsal boyutuyla detaylı olarak oluşturulan örnek bir vaka üzerinden incelenecektir. Örnek vaka, kesik olay simülasyon modeli esas alınarak modellenecek ve dikkatlice hazırlanmış deney tasarımları ile araştırma soruları cevaplanacaktır. Deney,

bilimsel yöntemin önemli bir parçasıdır. Mekanik modellerde olduğu gibi incelenen sistemin amprik modeli üzerinde de araştırmacılar gözlemler ve oynamalar yapabilir; sistemin nasıl ve niçin çalıştığı hakkında bilgi elde edebilirler (Montgomery, 2017, s. 2). Model tabanlı kantitatif araştırma bir bakıma rasyonel bilgi üretme yaklaşımı olarak ele alınabilir. Bu yaklaşım gerçek hayattaki operasyonel süreçlerin davranışını kısmen de olsa açıklayan objektif modeller oluşturulabileceği varsayımına dayanmaktadır (Bertrand ve Fransoo, 2002).

Simülasyon modelleri, özellikle tedarik zinciri yapısı ve üretim ortamlarında mevcut durumu ve alternatif politikaları karşılaştırmak için analizlerde kullanılmaktadır (Hellström ve Johnsson, 2002; Reiner, 2005, s. 438; Katsios vd., 2018). Reiner (2005, s. 435), bu şekilde mevcut durumu daha iyi yapabilmek için politika ve stratejilerin belirlendiği çalışmaları normatif - ampirik kantitatif çalışmalar olarak tanımlar. Bu çalışmalarda gerçek süreçlerin araştırılan özelliklerinin tanımlanabildiği ve ölçümlendiği genel kabul gören tek bir yöntem olmadığından, çalışılan ortam özelinde bulgular geçerli olacaktır. Sonuçların genele uygulanabilmesini, benzer çalışmaların sayısının artması ve sonuçların tutarlılığı sağlayacaktır. Steenhuis and Bruijn'in (2006) ifadesiyle "(…) *farklı yaklaşımlar az ya da çok bilimsel yerine, üretim yönetimi problem ve çözümlerine birlikte içgörü oluşturmaya yardımcı olabilecek bir teknikler portföyü olarak düşünülmelidir*."

4.2 Kesikli Olay Simülasyonu

Sistemi tanımlayan durum değişkenlerinin kesikli zaman noktalarında değiştiği modeller Kesikli Olay Simülasyon (KOS) modelleri olarak adlandırılır (Law, 2015, s. 6). KOS modelleri üretim, iş süreçleri, lojistik, ulaştırma ve dağıtım, sağlık ve askeri alanlarda birçok uygulama alanına sahiptir (Banks vd., 2014). Karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkiler içeren tedarik zincirlerinin analiz edilmesinde KOS güçlü bir yöntemdir. İncelenen sistemle ilgili "nasıl" sorularına cevap verirken model ve değişkenler üzerinde istenen düzeyde kontrol ve esneklik sağlar. Tedarik zincirinin dinamik yönlerinin değerlendirilmesi, alternatif kontrol parametreleri denenerek sistemdeki değişimlerin performans üzerindeki etkilerinin incelenmesinde KOS, etkili bir yöntem olarak kullanılabilir (Hellström ve Johnsson, 2002; Reiner, 2005, s. 438; Katsios vd., 2018).

Banks ve diğerleri, KOS konseptinde kullanılan temel kavramları şu şekilde tanımlamaktadırlar:

- Sistem: Bir amacı başarmak için birbirleriyle etkileşimde bulunan varlıklar (entities) topluluğu. Ör. makineler ve insanlar.
- Model: Sistemin soyut gösterimidir. Yapısal, mantıksal ve matematiksel ilişkilerle sistemi tanımlar.
- Sistem durumu (System state): Herhangi bir zamanda sistemin tanımlayan değişkenler topluluğu.
- Varlık (Entity): Sistemde açıkça temsil edilen bir nesne veya bileşen.
- Nitelikler: Varlıkların sahip oldukları özellikler.
- Liste: Belli bir mantıkla sıralanmış varlıklar topluluğu. Ör. sırada bekleyen işler.
- Olay (Event): Sistem durumunu değiştiren anlık oluş.
- Olay ikazı: meydana gelecek olayın tipi ve zamanını gösteren kayıt.
- Olay listesi (Event list): Oluş zamanına göre sıralı gelecek olay ikazları listesi.
- Aktivite: Belirli uzunluğa sahip zaman süresi. Ör. işlem süreleri
- Gecikme: Belirsiz uzunluğa sahip zaman süresi. Ör. LIFO sıradaki müşteri.
- Saat: Simüle edilmiş zamanı gösteren değişken. (Banks vd., 2014, s. 91)

KOS modelinin çalışırken gelişimi saat ve olay listesi tarafından yönetilir. Listenin başındaki olay, en yakın oluşacak olaydır. KOS modellerinde bir olay meydana gelmedikçe hiçbir şey değişmez, yani sistem durumu aynı kalır. Oluşan olaylar listeden silinirler, sistem durumunda değişiklik oluşturabilir ve muhtemelen başka olayları çizelgelerler (yani olay listesine eklerler). Bazen sistem durumunda değişiklik yapmadan sadece başka olayları da çizelgeleyebilirler. Çok genel mantıkla KOS akışı algoritmik olarak dört adımda ifade edilebilir (Altiok ve Melamed, 2007, s. 12): (1) Simülasyon saatini başlangıç zamanına ayarla, bir veya birden fazla olay oluştur ve olay listesine ekle (çizelgele). (2) Olay listesi boş ise simülasyonu durdur. Değilse, en yakın olayı bul ve listeden ayır. (3) Simülasyon saatini bu olayın zamanına ilerlet ve olayı uygula. Olay simülasyonu bitirdiyse dur. (4) Adım 2'ye dönerek devam et.

KOS modelleri; kodlama, hata ayıklama, yazılım idamesi ve kullanımı bakımından kolaylık sağlayan bileşenlere (program rutinleri) sahiptirler. Özellikle simülasyon zamanını ilerletmek için yaygın olarak kullanılan "sonraki olaya zamanı ilerletme" yaklaşımı kullan KOS modellerinde görülebilecek ortak bileşenler şunlardır:

- Başlangıç rutini: Simülasyonu 0 zamanında başlatan alt program.
- Zamanlama rutini: Olay listesindeki sonraki olayı belirleyen ve zamanı bu olayın oluş zamanına ilerleten alt program.
- Olay rutini: Belirli tipteki olayın olmasıyla sistem durumunu güncelleyen alt program. Her olay tipi için farklı bir olay rutini mevcuttur.
- Kütüphane rutinleri: Modelde gerekli olan olasılık dağılımlarından rassal gözlemler üretmek için kullanılan bir dizi alt program.
- Rapor üretici: İstatistiksel sayaçlar kullanarak istenen performans ölçümleri için tahminler oluşturan alt program. Simülasyon bittiğinde raporlama yapılır.
- Ana program: Zamanlama rutinini çağırarak sonraki olayın belirlenmesini sağlayan alt programdır. Sistem durumunu güncellemek için kontrol ilgili olay rutinine bırakılır. Simülasyon bitişini takip ederek rapor üreticiyi çalıştır. (Law, 2015, s. 9)

Yukarıdaki hususlar bu tez kapsamındaki KOS modelinin anlaşılması bakımından yeterli olacaktır. KOS modelleri hakkında detaylı modelleme ve kodlama hususları için Banks vd. (2014) ve Law (2015) kullanılabilir.

4.3 Deney Tasarımı

Genel manada deneyler, bir sistemin veya sürecin performansını ölçmek, neden ve nasıl işlediğini anlamak için yapılır. Deneyin sonuçları ve ulaşılacak çıkarımlar büyük ölçüde deney verilerinin nasıl elde edildiğine bağlı olacaktır. Bu nedenle bilimsel yöntemin önemli bir parçası olan deneylerin iyi tasarlanması gereklidir (Montgomery, 2017, s. 2).

Deney tasarımında üç hususun sağlanması gereklidir: (1) sistematik yanlılık (bias) veya hatadan kaçınılmalı, (2) rastlantısal hataların etkisi mümkün olan seviyede azaltılmalı ve (3) rastlantısal hataların büyüklüğü hakkında geçerli değerlendirmeler yapılabilmelidir

(Cox ve Reid, 2000, s. 15). Bilimsel deney yönteminin prensipleri olarak kabul edilen bu üç husus sırasıyla kontrol (veya bloklama), rastgeleleştirme (randomization) ve tekrarlama (replication) olarak adlandırılırlar. Bilgisayar simülasyon deneyleri, gerçek yaşam deneylerinden farklı olarak araştırmacıya bilgisayar ortamında tam kontrol imkânı sunar. Gerçek yaşamda kontrol edilemeyen değişkenler girdi parametreleri olarak kullanılabilirler. Ayrıca simülasyon deneyleri aynı koşullarda tekrarlanabilirler. Bu nedenle fiziksel deneylerde olduğu gibi kontrol edilemeyen yanlılıktan etkilenmez. Replikasyonlar ise değişkenliğin büyüklüğünü anlamak için çoklu koşumlar yaparak sağlanır (Sanchez S. M., 2015).

Deney tasarımında oluşturulan modelle ilgili yapısal varsayımlar ve modelin girdi parametreleri faktör, performans ölçüm çıktıları ise yanıt (response) olarak adlandırılır. Diğer bir ifadeyle faktörler, yanıt değişkenleri (bağımlı değişkenler) üzerinde etkisi olan/olduğu düşünülen girdi değişkenleridir (bağımsız değişkenler. Bir faktörün alabileceği farklı değerler ise deney tasarımının faktör seviyeleri olarak tanımlanır (Sanchez vd., 2021). Girdi parametreleri ve yapısal özelliklerin deneyde faktör olup olmayacağı (sabit kalacağı) çalışmanın amacına göre araştırmacı tarafından belirlenir. Faktörler, kantitatif veya kalitatif (kategorik) olabilirler. Ayrıca kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olarak da sınıflandırılabilirler. Gerçek yaşam deneylerinde kontrol edilemeyen girdiler, deneyin amacına göre simülasyon deneylerinde kontrol edilebilirler (Law, 2015, s. 630).

4.3.1 Deney ve deney tasarımının amaçları

Bir deneyin amaçları şunlardan birini belirlemek olabilir (Montgomery, 2017, s. 3): (1) hangi değişkenlerin yanıt üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu, (2) yanıtları istenen bir seviyede tutmak için bağımsız değişkenlerin nasıl ayarlanacağı, (3) yanıtlardaki değişkenliği azaltacak bağımsız değişken seviyeleri ve (4) kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerini ez aza indirecek bağımsız değişken seviyeleri. Bu amaçları yönetim kararları bakışıyla; (1) belirli bir sistem hakkında temel bir anlayış edinmek, (2) sağlam (robust) karar veya politikalar bulmak ve (3) çeşitli karar veya politikaların faydalarını karşılaştırmak (Sanchez vd., 2021).

Deney tasarımının temel amacı ise; en az simülasyon koşumu ile hangi faktörlerin bir yanıt üzerinde en fazla etkiye sahip olduklarının belirlenmesidir. Faktör tarama (screening) veya duyarlılık analizi olarak adlandırılan bu süreçte, faktörler ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi istatistiki modellerde tahmin eden meta-modeller (yanıt yüzeyi meta-modelleri) geliştirilir (Sanchez vd., 2021). Meta-modeller genellikle regresyon denklemi olarak ifade edilirler. Meta-modeller kullanılarak (1) simülasyonda denenmemiş sistem girdileri için yanıtlar tahmin edilebilir ve (2) yanıt-yüzeyi metodu ile bir yanıtı optimize eden girdi değişkenlerinin birleşimi bulunabilir (Law, 2015, s. 630).

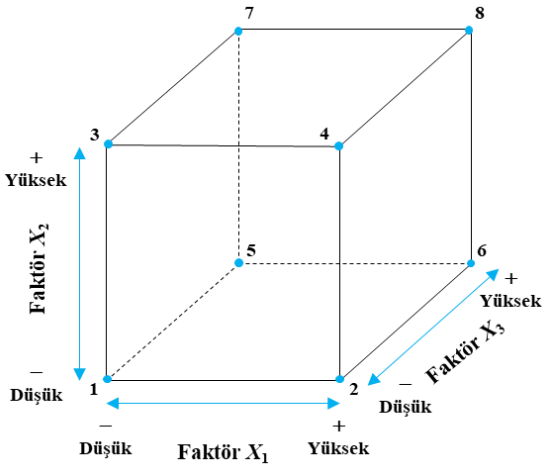
4.3.2 Faktöriyel deney tasarımı

Faktöriyel tasarım, iki veya daha fazla faktörün olduğu ve faktör seviyelerinin tüm kombinasyonlarının denenmek istendiği durumlarda kullanılan bir deney tasarımıdır. Deneyde her faktörün ana etkisi ve faktör etkileşimlerinin belirlenmesine olanak sağlar. Ana etki, tek bir faktörün diğer faktörler göz ününe alınmadan yanıt üzerindeki etkisini gösterir. Etkileşim ise bir faktörün yanıttaki etkisinin diğer faktörün seviyelerine göre değiştiğini ifade eder. Gösterimi m^k olan bir faktöriyel tasarım; m seviyeye sahip k faktörden oluşur ve m^k kadar tasarım noktasına (faktör-seviye kombinasyonuna) sahiptir. Tasarım, kullanım kolaylığı için tablo yapısında gösterilebilir. Bunun için sütunları faktörlerden ve satırları tasarım noktalarından oluşan tasarım matrisi kullanılır (Law, 2015, s. 633).

En basit faktöriyel tasarım iki seviyeden oluşan 2^k tasarımıdır. Bu tasarımda faktör seviyeleri düşük ve yüksek olarak ifade edilir, tasarım matrisinde −1 ve +1 (veya – ve +) şeklinde kodlanarak gösterilirler. Geometrik kodlama veya dik (orthogonal) kodlama olarak da adlandırılan kodlama şekli, regresyon modeli kurarken faktör seviyeleri ile yanıt değişkeninin ilişkilendirilmesini sağlamaktadır (Montgomery, 2017, s. 406). Üç faktör (X_1, X_2 ve X_3) ve iki seviyeden (düşük ve yüksek) oluşan 2^3 tasarım için örnek matris ve geometrik yapı Şekil 16'da gösterilmiştir.

Tasarım Noktası	Faktör kodları			İlave terimler			
	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$
1	–1	–1	–1	+1	+1	+1	–1
2	+1	–1	–1	–1	–1	+1	+1
3	–1	+1	–1	–1	+1	–1	+1
4	+1	+1	–1	+1	–1	–1	–1
5	–1	–1	+1	+1	–1	–1	+1
6	+1	–1	+1	–1	+1	–1	–1
7	–1	+1	+1	–1	–1	+1	–1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

(a) Tasarım matrisi



(b) Geometrik gösterim

Şekil 16. 2^3 Faktöriyel Tasarım (Montgomery, 2017, s. 240'tan uyarlanmıştır)

Faktöriyel tasarımlar analizi kolaylaştıran özellikler taşırlar. Tasarım matrisi dik (orthogonal) olduğundan herhangi iki sütunun (faktörün) ikili korelasyonları sıfır olacaktır. Böylece regresyon modelinde faktör etkilerini gösteren katsayı tahminleri ve bunların regresyon modelini açıklama gücüne katkıları, modeldeki başka etkilere dayanmayacaktır (Sanchez vd., 2021).

Regresyon modelleri, faktörler ile yanıt değişkenlerinin ilişkisini ortaya koymak için genellikle kullanılan meta-modellerdir. Deney tasarımındaki k adet faktörü X_1, X_2, … , X_k olarak ve yanıtı da Y ile gösterelim. Çoğunlukla birinci derece ve ikinci derece modeller kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla Eşitlik (4.1) ve (4.2)'de verilmiştir. Ana etki modeli olarak da adlandırılan Eşitlik (4.1) birinci seviye modelde, ε'nun bağımsız ve aynı dağılımlı, sıfır ortalamaya sahip rastgele hata (deneysel hata) olduğu varsayılmıştır. En küçük kareler regresyonu ile modeldeki bilinmeyen β katsayıları yansız olarak tahmin edilirler. Eşitlik (4.2) ikinci seviye modelde ise karesel etkiler ve etkileşimler modele eklenmiştir. Regresyon hesaplamalarında nümerik kararlılık sağlamak için karesel etkiler ile etkileşim terimleri ortalama değer ile merkezileştirilerek de (Eşitlik (4.3)) kullanılabilir (Sanchez vd., 2021).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \varepsilon \qquad (4.1)$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{i,j} X_i X_j + \sum_{i=1}^{k} \beta_{i,i} X_i{}^2 + \varepsilon \quad (4.2)$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{i,j} (X_i - \overline{X}_i)(X_j - \overline{X}_j) + \sum_{i=1}^{k} \beta_{i,i} (X_i - \overline{X}_i)^2 + \varepsilon \quad (4.3)$$

Üç seviyeden oluşan 3^k tasarımlarda 2^k tasarımda olduğu gibi kodlanarak kullanılırlar. Bu sefer kodlama; düşük, orta ve yüksek olarak ifade edilir ve –1, 0 ve +1 olarak matriste gösterilir. Deney tasarımlarında, değişkenlerin bu şekilde kodlanması faktör etkilerinin göreceli olarak belirlenmesine olanak verir (Montgomery, 2017, s. 290). Çok seviyeli ve çok sayıda faktörden oluşan deneylerin tam faktöriyel tasarım kullanılarak yapılması başta zaman (Sanchez vd., 2021) olmak üzere kaynaklar bakımından ekonomik değildir. Bu maksatla kullanılabilecek etkili tasarım ve yöntemler (ör. Latin hiperküp ve yaklaşık dik Latin hiperküp tasarımlar, azaltılmış faktöriyel tasarım, merkezi bileşik tasarım vb.) mevcuttur. Konuyla ilgili detaylı bilgi için Montgomory (2017), Cox ve Reid (2000) ve Law (2015) kaynak olarak kullanılabilir.

4.4 ABC-XYZ Analizi ile Malzeme Sınıflandırma

ABC ve XYZ analiz teknikleri, yönetici fikir ve hükümlerini temel alan yöntemlerden farklı olarak istatistiksel verileri kullanırlar. İstatistiksel sonuçlar, endüstri ve market koşullarına göre belirlenen hacim, zaman, müşteri ve ürün boyutlarından oluşan SKU karakteristiklerine dayanmaktadır (van Kampen vd., 2012). ABC analizi malzeme yönetiminde çok sayıdaki faklı parametre ve kullanımına imkân vermektedir. XYZ analizi kalemlerin talep değişkenliklerini esas almaktadır ve ABC analizini bu boyutuyla geliştirmektedir.

4.4.1 ABC analizi

ABC analizi, çok sayıda kalem içeren envanter sistemlerinde stok kalemlerinin sınıflandırılması için kullanılan yaygın bir yöntemdir. ABC sınıflandırma yöntemi kalem birim maliyeti ve o kaleme ait talep bilgilerini girdi olarak kullanan basit ama oldukça kullanışlı bir yöntemdir (Ramanathan, 2006; Tanyaş ve Baskak, 2017, s. 125). Tüm stok kalemleri aynı değere sahip olmadığından işletme açısından en fazla etkiye sahip olan

daha az sayıdaki ürün kalemi belirlenerek bu kalemlerin detaylı olarak titizlikle takip edilmesi gerekir. Yöntem birçok alanda uygulanan ve 80-20 kuralı olarak da bilinen Pareto prensibini (Pareto, 1971) esas almaktadır. Stok sınıflandırmasına uyarlandığında yaklaşık olarak %80 stok kalem değerinin %20 stok kaleminden oluştuğunu ifade eder. Gruplandırılacak stok kalemleri için grup bazında aynı envanter kontrolü ve tahmin yöntemleri kolaylıkla kullanılabilir ve grup bazında performans kriterleri daha etkin gözlemlenebilir (Axsäter, 2015, s. 228).

Yöntem basitçe şu adımları içerir:

- Dönemsel kullanım hacimlerinin hesaplanması
- Kullanım hacimlerine göre kalemlerin azalan şekilde sıralanması
- Her kalem için dönemdeki kullanım yüzdesi ve kümülatif yüzdelerinin hesaplanması
- Stok kalemlerinin A, B ve C kategorilerine ayrılması.

ABC sınıflandırma yöntemi ile stok kalemleri, belirli bir zaman periyodunda kullanılan maliyet hacimlerine göre (birim maliyet x periyottaki kullanım) üç kategoriye ayrılırlar. Genel olarak A kategorisi, %70-80 kullanım hacmine sahip %15-20 oranındaki kalemleri; B kategorisi, %10-15 kullanım hacmine sahip %10-20 oranındaki kalemleri; C kategorisi kalemler de %3-5 kullanım hacmine sahip %50-60 oranındaki kalemleri oluşturur (Benton, 2013, s. 114; Jacobs vd., 2011, s. 492).

ABC sınıflandırma yönetimi tek bir kriteri, kullanım hacmini, göz önüne almaktadır. Bu durum, analizi kategori sayısı, aralıkların belirlenme noktası ve analizde kullanılan kalem sayısı bakımından hassas hale getirmektedir. Özellikle üç adet kategori, çok sayıda kaleme sahip envanter sistemlerinde oldukça büyük kalem grubu için genelleme yapılmasına sebep olacaktır. Ayrıca ABC analizinin dinamik olmayan yapısı nedeniyle söz konusu kalem hakkında sadece analiz anındaki bilgi edinilecek, kalemin önemindeki değişim takip bilgisi başka analizlerle görülebilecektir (Kourentzes, 2016; Pandya ve Hemant, 2016).

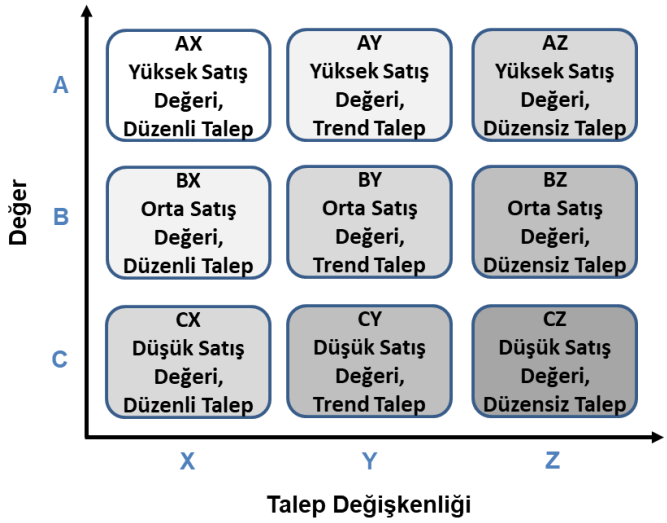
4.4.2 XYZ analizi

XYZ analizi ABC sınıflandırma analizinin tamamlayıcısı olarak genelde beraber kullanılan bir yöntemdir. XYZ analizi kalemleri talepteki değişkenliklerine göre

sınıflandırır. Başka bir ifadeyle XYZ analizi, kalemlerin tüketimlerindeki oynaklığı dikkate alarak sınıflandırma yapmaktadır. Talep miktarlarındaki dağılma sınıflandırmayı belirler. Bunun için değişim katsayısı (standart sapma/ortalama) istatistiği kullanılır (Scholz-Reiter vd., 2012). $X = (X_1, X_2, \dots, X_N)$ parçanın N döneme ait satış verileri için değişim katsayısı şu şekildedir:

$$CV = \frac{s}{\overline{X}} 100\% \qquad \overline{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} X_i \qquad s = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2} \tag{4.4}$$

Belirlenen dönem için her kaleme ait tahmini talep kullanılarak değişim katsayıları hesaplanır ve sıralanır. Sınıflandırma aralıkları belirlenerek (Örneğin %0-10 arası X, %10 – 25 arası Y ve %25 ve üstü Z) kalemler gruplandırılır. Gruplandırmada; X, düzenli ve tahmin edilebilir talebi; Y, göreceli olarak daha dalgalı ve tahmini kısmen zor talebi; Z ise aşırı değişken ve tahmini zor talepler içerir. ABC analizi ve XYZ analizinin birlikte kullanımı ile stok kalemleri dokuz gruba ayrılır (Şekil 17). Bu şekilde her bir gruptaki kalemler için ortak stok ve kontrol politikalarının belirlenmesi ve uygulanması sağlanır. Stok kalemleri önceliklendirilerek hedeflenmiş malzeme yönetim esasları etkin ve takip edilebilir şekilde hayata geçirilmiş olur (Zenkova ve Kabanova, 2018; Schönsleben, 2016, s. 458).



Şekil 17. ABC-XYZ Analizinde Dokuz Stok Gruplaması

Stok kalemlerinin sınıflandırılması ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, ABC-XYZ analizi vb. yöntemlerde kullanılan kategori sayıları ile sınıflar arası sınırların tek bir tanımı olmadığı, bunların belirlenmesinin yönetimsel kararlar olduğu görülmektedir (van Kampen vd., 2012).

4.5 Araştırmanın Aşamaları

4.5.1 Çalışmanın konumu ve araştırma soruları

Bölüm 2.1 literatür incelemesi ve Bölüm 3'te verilen üretim ve ÜPK sistemleri teorik çerçevesi doğrultusunda konumlandırılan çalışmanın temel amacı; ABC-XYZ sınıflandırmaları bazında, stok maliyetleri ve sipariş karşılama oranı performans kriterlerini en iyi yapan tampon konum ve boyutlandırma parametrelerinin, arz ve talep değişkenlileri altında saptanmasıdır. Bu amaçla öncelikle cevap aranacak iki araştırma sorusu (AS) oluşturulmuştur:

AS-1: Ürün ağacında belirli ürün gruplarında konumlandırılmış DDMRP tamponları için, ABC ve XYZ sınıflandırmaları esas alınarak performans ve parametre ilişkisi kurulabilir mi?

AS-2: Oluşturulan gruplar için, arz ve talep değişkenliği altında en az stok maliyetiyle en iyi müşteri hizmet seviyesini sağlayacak DDMRP parametreleri nasıl ayarlanabilir?

Çalışmada ikincil olarak, yürütmede önceliklendirme esaslarının performans etkilerinin DDMRP özelinde incelenmesi hedeflenmektedir. DDMRP, tampon seviyesinin kırmızı bölgeye ne kadar girdiğine göre ikazlar üretmekte (2.2.6.1) ve buna göre önceliklendirme yapmaktadır. DDMRP'nin uyguladığı tampon seviyesi esaslı önceliklendirmenin ABC gruplamalarıyla geliştirilmesinin performans üzerindeki etkisi aşağıdaki soru esas alınarak incelenecektir.

AS-3: DDMRP'nin tampon seviyelerini esas alan yürütme önceliklendirme yaklaşımı ABC kategorileri ile ayrıca önceliklendirilerek performans artırılabilir mi?

Çalışmada güdülen bir diğer amaç ise literatürdeki çalışmalara göre daha karmaşık ve çok seviyeden oluşan bir ürün ağacı yapısında DDMRP tampon konumlarının; ABC-XYZ sınıflandırmaları kullanılarak son ürünler ile son ürünlere ilaveten satın alınan ürünler ve

ara bileşenler bazında oluşturulmasının performans etkilerinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda dördüncü araştırma sorusuna cevap aranacaktır.

AS-4: Tampon konumlarının sadece son ürünler, son ürünlerle birlikte satın alınan ürünler veya ara bileşenler bazında oluşturulması için ABC ve XYZ sınıflandırmaları esas alınarak genel politikalar oluşturulabilir mi?

Neticede çalışmada, DDMRP özelinde daha önce denenmemiş ABC ve XYZ sınıflandırma yöntemlerinin kullanımı ile tampon konumları ve tampon boyutlandırma parametrelerinin etkileşimleri incelenecektir. Şekil 15'te aşamaları sunulan araştırma yaklaşımı uygulanarak DDMRP'nin etkin işletilmesi için ABC/XYZ grupları bazında en iyi performans veren tampon ve parametre yapısı önerilecektir.

4.5.2 Deney tasarımının ve senaryoların oluşturulması

4.5.2.1 Deney tasarımı

Çalışmanın araştırma sorularını destekleyecek deney tasarımı için kullanılacak faktörler ve seviyeleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 9. Deney Tasarımı Faktör ve Seviyeleri

	Faktör	Seviyeleri		
1	XYZ Kategorisi	X, %5 (X)	Y, (%25 (Y)	Z, %50 (Z)
2	Değişkenlik Faktörü	Düşük, 0.2 (D)	Orta, 0.5 (O)	Yüksek, 0.5 (Y)
3	Temin Süresi Faktörü	Kısa, 0.8 (K)	Orta, 0.5 (O)	Uzun, 0.3 (U)
4	Stok Noktaları	Son ürünler (S)	Son ürünler + Montaj ürünler (S+M)	Son ürünler + Satın Alınan ürünler (S+SA)
5	Yürütme Önceliği	DDMRP kritik tampon seviyesi (DD)	Teslim zamanı (T.Zam.)	ABC öncelikli (ABC)

Not: Faktör seviyeleri gerektiğinde, yanlarında parantez içinde verilen sembol ve kısaltmalarla tablo ve grafiklerde gösterilebilecektir.

Çalışmada 3^5'lik tam faktöryel tasarım yöntemi seçilmiştir. Çünkü, belirlenen 5 faktörün tüm seviyeleri ile birlikte oluşturduğu kombinasyonların denenebileceği ve etkilerinin

analiz edilebileceği en etkin yöntem faktöryel tasarımdır (Montgomery, 2017, s. 180). XYZ faktörü seviyeleri simülasyon deneylerinde talep verilerinin oluşturulmasında kullanılacaktır (Bölüm 4.5.3.3). Değişkenlik ve TS faktörleri doğrudan tampon boyutunun belirlenmesine etki etmektedirler (Bölüm 4.5.3.2). Çalışmada kullanılan örnek vaka (Bölüm 4.5.3) stok için üretim ortamı olduğundan stok noktaları faktörünün her seviyesinde son ürünler yer almaktadır. Yürütme önceliği faktörü üretim için bekleyen SKU'ların önceliklendirmesinde esas alınacak üç seviyeden oluşmaktadır (Bölüm 4.5.3.5).

Deney tasarımında yanıt değişkeni olarak iki performans göstergesi esas alınacaktır: (1) sipariş karşılama oranı (SKO) ve (2) stok maliyetleri (StokMly). Ayrıca stok devir hızı ve stok seviyeleri de ilave yanıtlar olarak kullanılacaktır. Siparişten karşılama oranı, tam ve zamanında stoktan karşılanan siparişler esas alınarak hesaplanacaktır. Stok maliyetleri hesabında da SKU bazında oluşan ortalama stok miktarları, SKU birim fiyatları ile çarpılarak toplamı alınacaktır. Stok devir hızı yıllık bazda oluşan maliyet bazlı satış hacminin toplam ortalama stok değerine bölünmesiyle elde edilmektedir. Ortalama stoklar günlük ölçümlerle ağırlıklandırılarak istenen zaman periyodunda hesaplanabilmektedir.

Ana performans göstergeleri SKU bazında takip edilecektir, ancak sistemin genel performansı için ortalama değerleri alınarak kullanılacaktır. Tez genelinde modellerde ortalama sipariş karşılama oranı (OrtSKO) ve toplam ortalama stok maliyeti (TopOrtStokMly) kısaltmaları ile kullanılacaktır. Kontrol edilebilen faktör değişkenlerinin farklı seviyelerdeki etkileri, bu iki bağımlı değişken üzerinde gözlemlenecektir. Çalışmadaki ABC sınıflandırması son ürünler bazında kullanıldığından, yanıt değişkenler ABC kategorilerine göre de incelenecektir. Örneğin, A kategorisi ürünlerin ortalama sipariş karşılama oranı, B kategorisi ürünlerin toplam ortalama stok maliyeti vb. Benzer şekilde yıllık periyotta SKU bazında ele alınan ortalama stoklar, ürün tipleri (son ürünler, ara ürünler ve satın alınan ürünler) veya A, B, C kategoriler bazında ortalamaların toplamı alınarak toplam ortalama stok (TopOrtStok) olarak kullanılacaktır.

Kullanılan tasarımda, faktörler ve seviyeleri göz önüne alındığında 3^5 = 243 tasarım noktası (simülasyon koşumu) bulunmaktadır. Her koşumun 10 tekrar yapılması takip edilen performans göstergelerinin nokta tahminlerini %5 hata oranı ile (%95 göreli kesinlik) elde etmek için yeterli olmaktadır.

4.5.2.2 Senaryolar

Simülasyon modeli deney tasarımını uygulamanın yanı sıra ABC gruplandırması için veri oluşturmak, elde edilen bulguları tekrar teyit edebilmek, duyarlılıklarına bakma gibi maksatlarla çalıştırılacaktır. Bu işlemleri mantıki bir çerçevede yapabilmek ve sonra çalışma içerisinde anlamlı bir yapıda bahsedebilmek için senaryolar kullanılacaktır. Bu çalışmada senaryo kelimesinin deney tasarımı dışında kullanıldığını vurgulamakta yarar olacaktır. Senaryo, simülasyon modelinin belli bir amaç için çalıştırılmasını öngören aşamalar olarak ele alınmıştır. Deney tasarımı da bu amaçlardan biridir.

Çalışmada aşağıdaki senaryolar kullanılacaktır. Senaryolar simülasyonda 1.5 yıllık (78 hafta) süreyi kapsayacak şekilde çalıştırılacaktır. İlk 26 hafta, simülasyonun kararlı bir duruma ulaşması (ısınma dönemi) için kullanılacaktır. İstatistiksel veriler, ısınma dönemi tamamlandıktan sonra simülasyon koşumunun 27-78. haftaları arasında toplanacaktır.

Tablo 10. Oluşturulan Senaryolar ve Genel Özellikleri

Senaryolar	Ürün Ağacı ve Atölye Yapısı	Stok Noktaları	Diğer Parametreler	Açıklama
Senaryo-1	Örnek Vaka	Son ürünler	Talep Dğş. = %5, TSF = DF = 0.5	A, B, C gruplandırması için temel verileri sağlar.
Senaryo-2		Deney tasarımı (Tablo 9) uygulanacaktır.		

4.5.3 Örnek vakanın tanımlanması

Örnek vakada akış tipi üretim yapan bir atölye yapısı, literatürde yer alan çalışmalar (Miclo, 2016; Bayard vd., 2021; Dessevre vd., 2021; Jiang & Rim, 2016) esas alınarak oluşturulmuştur. Bu bölümde detayları verilen örnek vaka, araştırmanın (Şekil 15) önemli adımlarından biri olan simülasyon modelinin (Bölüm 4.5.4) kavramsal modeli olarak tasarlanmıştır.

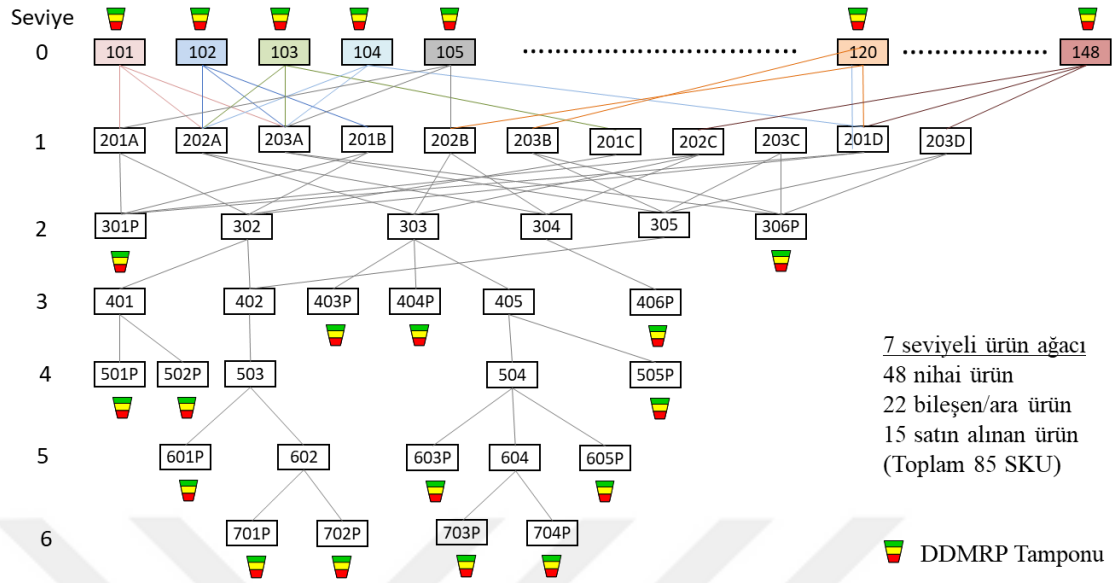
Müteakip maddelerde örnek vaka atölye yapısı ve DDMRP kurallarına göre işleyişi açıklanmıştır. Önce ürün ağacı ve parça özellikleri tanımlanmış, sonra iş istasyonları ile kapasite ve rota bilgileri verilmiştir. Devamında atölye ortamına uygulanacak arz ve talep değişkenliği esasları; üretim ve montaj istasyonlarında arıza-tamir oluşumu ile müşteri taleplerinin üretilmesi bakımından ele alınmıştır. DDMRP'nin üretim ve planlama mantığında (Bölüm 2.2) yer alan tampon kullanımı ile üretim ve satın alma siparişlerinin oluşumu örnek vaka özelinde somutlaştırmıştır. Son olarak işleyişte kullanılan varsayım ve kısıtlara yer verilmiştir.

4.5.3.1 Ürün ağacı ve kalem özellikleri

Söz konusu atölyede 48 nihai ürün, 21 bileşen ve 16 satın alınan olmak üzere toplam 85 kalemden (SKU) oluşan 7 seviyeli bir ürün ağacı (Şekil 18) kullanılmaktadır. Ürün ağacında yer alan son ürünler montaj ürünleri olup, ilk bileşenlerinin farklı varyantları kullanılarak çeşitlendirilmiştir. Örneğin:

- bileşen 201 ailesi, 4 adet (201A, 201B, 201C, 202D)
- bileşen 202 ailesi, 3 adet (202A, 202B, 203C) ve
- bileşen 203 ailesi, 4 adet (203A, 203B, 203C, 203D) varyant olmak üzere toplam 4 * 3 * 4 = 48 farklı nihai ürün (SKU101 – SKU 148) elde edilmiştir.

Oluşturulan ürün ağacı (Şekil 18), geçmiş çalışmalarda (Azzamouri vd., 2021) DDMRP'nin denenmesi için işaret edilen, çok ürün çeşitliliğine sahip daha karmaşık ürün ağaç yapısını sağlamaktadır. Ürün ağacındaki her bir düğüm bir kalemi (SKU), oklar ise üst SKU'nun üretimi için gereken alt SKU'yu göstermektedir(ebeveyn-çocuk bağı). Ürün ağacında üst mamulü üretmek için gereken alt kalem miktarı bir olarak alınmıştır. Ürün ağacındaki tüm kalemlerin ayrıca tedarik süresi (TS), ortalama günlük kullanımı (OGK), DDMRP tampon profili, maliyeti ve satış fiyatı bilgileri özellik olarak belirlenmiştir. Bu veriler 85 SKU için EK-1, Tablo Ek.1.1'de verilmiştir.



Şekil 18. Örnek Vaka Ürün Ağacı Yapısı

4.5.3.2 Tampon yapıları ve kullanımı

Çalışmada başlangıç olarak müşteri tolerans süresi sıfır kabul edildiğinden stok için üretim (make-to-stock) ortamı ele alınmıştır. Bu nedenle DDMRP tamponları başlangıç olarak son ürünler ve satın alınan ürünlerde kullanılmıştır **(**Şekil 18). DDMRP ifadesiyle son ürünler ve satın alınan ürünler başlangıçta "ikmal edilen parçalar" olarak belirlenmiştir. Tampon konumları deney tasarımı içerisinde değişmektedir. Tampon konumlarından sonra tampon boyutlarının hesaplanmasında öncelikle ATS değerleri bulunmuştur. Tampon konumları ürün ağacı yapısında ATS hesaplamasına temel teşkil etmektedir (Bölüm 2.2.2.1). Matematiksel olarak ATS hesaplaması şu şekilde yapılmıştır:

$$ats_i = \max_{j \in C_i}\{(1 - x_j) \cdot ats_j + ts_i\} \quad ; i \in N \tag{4.5}$$

Eşitlikte kullanılan semboller:

N = ürün ağacı düğümlerinden (ürünler) oluşan küme

i, j = ürün ağacındaki parça indeksi, $i = j = 1, 2, \ldots |N|$

C_i = i ürününün çocuklarından oluşan küme

ats_i = i ürününün ayrışık tedarik süresi

ts_i = i ürününün tedarik süresi

x_i = i üründe tampon var ise 1, yoksa 0

Tampon boyutlandırmada gerekli olan OGK, TS (ATS için gerekli) ve Profil bilgileri EK-1, Tablo Ek.1.1'den alınmıştır. Parça profil bilgilerine göre kullanılan TS ve değişkenlik faktörleri (TSF ve DF) ataması Tablo 11 esas alınarak yapılmıştır.

Örneğin son ürün SKU101 için hesaplama şu şekilde olacaktır. Tablo Ek.1.1'e bakıldığında SKU101 için OGK = 125, ATS = 24 gün ve parça profili = ÜUO (üretilen, uzun TSF kategorisi, Orta DF kategorisi) olarak verilmektedir. Üretilen parça tipi için ATS ≥ 21 olduğunda Tablo 11'e göre TSF kategorisi uzun ve TSF = 0,30 alınacaktır. Değişkenlik faktörü simülasyon deneylerinde senaryo bazlı olarak talep değişkenlik katsayısı (yani XYZ kategorisi) ile eşleştirilmektedir. Örnek vaka başlangıç hesabında orta değişkenlik seviyesi varsayıldığından DF = 0.50 alınmıştır.

Tablo 11. Örnek Vaka DDMRP Tampon Profil Özellikleri

Parça Tipi	ATS Aralığı	TS Kategorisi	TS Faktörü	Talep Dğş. Katsayısı	Dğş. Kategorisi	Değişkenlik Faktörü (DF)
Üretilen	≥ 10					
Ara	≥ 10	TS Uzun (U)	0.30	X (%5)	Değişkenlik Düşük (D)	0.20
S.Alınan	≥ 21					
Üretilen	5 - 9					
Ara	5 -9	TS Orta (O)	0.50	Y (%25)	Değişkenlik Orta (O)	0.50
S.Alınan	11 - 20					
Üretilen	0 - 4					
Ara	0 - 4	TS Kısa (K)	0.80	Z (%50)	Değişkenlik Yüksek (Y)	0.80
S.Alınan	0 - 10					

Burada özellikle dikkat edilmesi gereken husus hesaplamalarda OGK ile ATS'nin aynı zaman biriminde kullanılmasıdır. Bu durumda tampon Sarı Bölgesi, SB = OGK x ATS = 125 x 24 = 3000; Yeşil Bölge (YB) = SB x TSF = 3000 x 0.3 = 900 olarak hesaplanır. Benzer şekilde Kırmızı Bölge, KB = K.Baz + K.Emniyet = (SB x TSF) + (SB x TSF) x DF = (3000 x 0.3) + (3000 x 0.3) x 0.5 = 1350 olur. Toplam tampon büyüklüğü = YB + SB + KB = 900 + 3000 + 1350 = 5250 bulunur. Yukarıda anlatılan esaslarla oluşturulan tampon boyutları, EK-1, Tablo Ek.1.2'de görülebilir.

4.5.3.3 Talep verileri

Talep gören 48 son ürün için müşteri talepleri günlük olarak her günün başında alınmaktadır. Atölyede çalışma akışı günlük olarak yürütüldüğünden talep bilgisi son ürünler için günlük bazda OGK olarak EK-1, Tablo Ek.1.1'de verilmiştir. Ürün ağacı ebeveyn-çocuk bağlantısındaki miktarlar kullanılarak son ürünlerin talebi, yani, OGK'sı, diğer SKU'lara yansıtılmıştır.

Örnek vakada günlük talep üç farklı değişkenlik seviyesi oluşturacak şekilde normal dağılım kullanılarak rassal olarak üretilmektedir. Bu üç değişkenlik seviyesi, literatürde yer alan XYZ analizinin üç seviyesini temsil etmektedir. Bu nedenle günlük talep, belirli değişkenlik yüzdelerine karşılık gelen standart sapmalar (Tablo 12) kullanılarak üretilmektedir. Değişkenlik seviyeleri simülasyon deney tasarımında faktör olarak ele alındığından, Tablo 12 kullanılarak her seviye için senaryo bazlı talep üretilebilecektir.

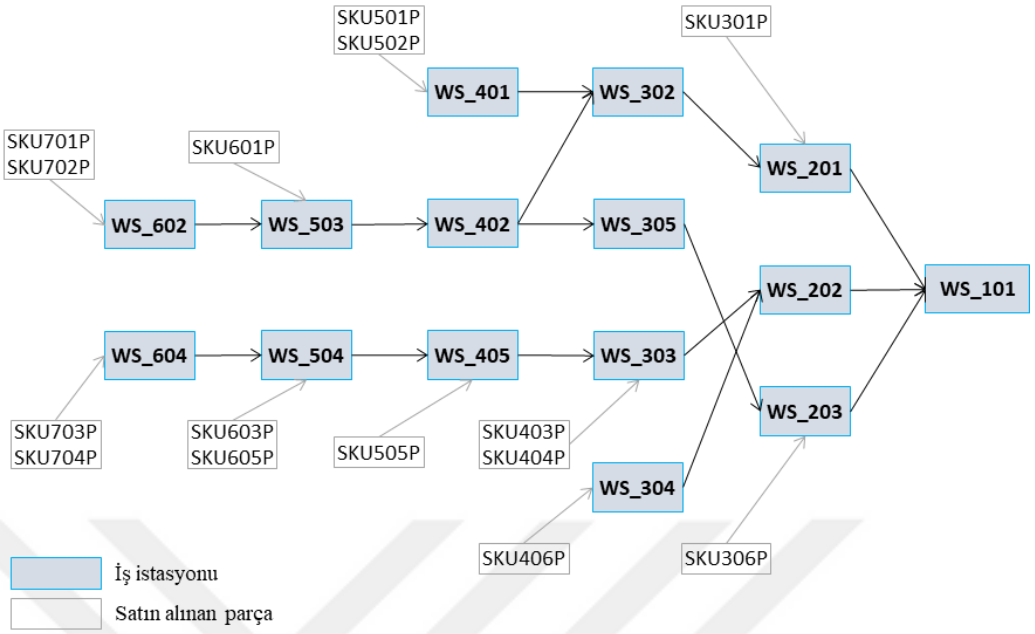
Tablo 12. Örnek Vaka Talep Verilerinin Oluşturulması

Talep Değişkenliği	Talep Fonksiyonu ve Parametreleri	Değişkenlik	Literatürde Yer Alan XYZ Aralıkları*
X (Düşük)	Norm(Günlük Ort. Talep, 5)	5	%0 - 10 arası X kategorisi
Y (Orta)	Norm(Günlük Ort. Talep, 25)	25	%10 - 25 arası Y kategorisi
Z (Yüksek)	Norm(Günlük Ort. Talep, 50)	50	%25 ve üstü Z kategorisi

* (Zenkova ve Kabanova, 2018)

4.5.3.4 İş istasyonları

DDMRP yönteminin kullanıldığı üretim ortamında 16 iş istasyonu bulunmaktadır (Şekil 19). Her kalem tek bir istasyonda işlem görmekte ve ürün ağacında belirtilen mamule dönüşerek atölyedeki akışa devam etmektedir. İstasyonlar arasındaki akış, ürün ağacındaki bağlantılarla benzerdir. Varyant bileşen (Ör. 201A, 201B, 201C ve 201D) ve son ürünler işlem gördükleri istasyonlarda (Ör. WS_201, WS 101) kapasite için yarışmak zorundadırlar. Hangi kalemin hangi istasyonda işlem gördüğü EK-1, Tablo Ek.1.1'de yer almaktadır.



Şekil 19. Örnek Vakada Kullanılan İş İstasyonları

İstasyonların işletilmesinde kullanılan kapasite, hazırlık ve işlem süreleri ve parti büyüklükleri Tablo 13'te verilmiştir. İş istasyonları önceki bölümde (4.5.3.3) anlatılan talep yapısına göre ortalama %80 civarında yüklenmektedirler. Dolayısıyla talep değişkenliği arttıkça, iş istasyonları darboğaz oluşturabilecektir. Arızalar arası ortalama zaman (MTBF) ve onarımda geçen ortalama zaman (MTTR) parametreleri istatistiki dağılım olarak üretim sürecine dahil edilmiştir. MTBF ve MTTR dağılımları Miclo'nun (2016) çalışmasındaki verilerden çoğaltılmıştır. Böylece her iş istasyonunun sahip olduğu haftalık 45 saatlik çalışma kapasitesini aşağı çeken arz değişkenliği yaratılması hedeflenmiştir.

Tablo 13. Örnek Vaka İş İstasyonları Parametreleri

İş İstasyonu	MTBF (saat)	MTTR (saat)	Kapasite (sa./hafta)	Parti Boyutu	Hazırlık Süresi (saat)	İşlem Süresi (saat)
WS_101	Üstel (21.25)	Üçgensel (0.8, 1.6, 3.2)	45	50	0.125	0.2
WS_201	Üstel(17.80)	Üçgensel (1.1,2.2, 4.4)	45	100	0.25	0.55
WS_202	Üstel (11.6)	Üçgensel(0.86,1.73, 3.46)	45	100	0.25	0.55
WS_203	Üstel (9.70)	Üçgensel (0.48,0.96, 1.92)	45	100	0.25	0.55
WS_302	Üstel (15.19)	Üçgensel (0.4,0.8, 1.6)	45	200	0.2	0.6
WS_303	Üstel(17.80)	Üçgensel (1.1,2.2, 4.4)	45	200	0.15	0.5

WS_304	Üstel(11.6)	Üçgensel(0.86,1.73, 3.46)	45	300	0.25	0.8
WS_305	Üstel (21.25)	Üçgensel (0.8, 1.6, 3.2)	45	300	0.25	0.65
WS_401	Üstel(17.80)	Üçgensel (1.1,2.2, 4.4)	45	200	0.1	0.5
WS_402	Üstel (11.6)	Üçgensel(0.86,1.73, 3.46)	45	200	0.05	0.25
WS_405	Üstel (9.70)	Üçgensel (0.48,0.96, 1.92)	45	200	0.1	0.3
WS_503	Üstel (15.19)	Üçgensel (0.4,0.8, 1.6)	45	300	0.1	0.225
WS_504	Üstel(17.80)	Üçgensel (1.1,2.2, 4.4)	45	300	0.25	0.75
WS_602	Üstel(11.6)	Üçgensel(0.86,1.73, 3.46)	45	300	0.05	0.25
WS_604	Üstel(11.6)	Üçgensel(0.86,1.73, 3.46)	45	300	0.2	0.6

4.5.3.5 Planlama esasları ve işleyiş

Atölye günlük 08:00-17:00 arası olmak üzere 9 saat, haftada ise 5 gün çalışmaktadır. İşletme 48 adet son ürünün her biri için siparişleri günlük olarak ve doğrudan almaktadır. Tüm siparişler (gelen satış siparişleri ile atölyede oluşturulan tedarik siparişleri) günlük olarak saat 08.00'de topluca işlenmektedir. Eğer tamponda yeterli stok mevcudu var ise sipariş hemen karşılanmakta, elde mevcut yoksa satış kaybı oluşmaktadır. Bu iki durum ilgili SKU için SKO hesabına girdi oluşturur. Atölyede bekleyen siparişe izin verilmemektedir.

Her sipariş işleminde ilgili tampon için DDMRP mantığına göre tedarik siparişi oluşturmak için Eşitlik (2.2) Net Akış Denklemini (NAD) kullanılır. NAD ile elde edilen net akış pozisyonu (NAP) tamponun sarı bölgesinde ise tamponu yeşil bölge tepesine tamamlayacak tedarik siparişi oluşturulmaktadır. Ürün ağacı bilgileri kullanılarak üretilen tedarik siparişi aşağı seviyelere doğru patlatılarak diğer transfer ve tedarik emirleri oluşturulur. Tamponlar atölye içinde üretim veya satın alma ile ikmal edildiğinde veya tamponsuz SKU'lar için ilgili iş istasyonuna transfer yapıldığında, varsa bekleyen siparişler öncelikle karşılanır.

Atölyeye işlem için salıverilen üretim emirleri ilgili iş istasyonunda Tablo 13 ile verilen hazırlık ve işlem sürelerine göre üretim sürecine girerler. Eğer istasyonda bekleyen emirler var ise bu durumda önceliklendirme yapılarak işlem görecek emir seçilir. DDMRP yürütme önceliklendirme mantığı, tampon durum ikazlarına (Bölüm 2.2.6.1) dayanır. Üretim için bekleyen SKU'lar, tampon eldeki miktar ikazlarına (Şekil 5) göre en düşük seviyeden itibaren öncelik alarak istasyonda işlem görürler. Eğer üretilecek SKU tamponsuz ise, bu durumda ürün ağacında söz konusu SKU'nun üst seviyelerdeki ilk

tamponlu ebeveyni/atası durumundaki tamponun eldeki miktar düzeyine bakılarak öncelik verilir. Bu husus çalışmada esas alınan deney tasarımında, yürütme önceliği faktörünün ilk seviyesi olarak yer almaktadır. Yürütmede temel alınan ve kullanılan DDMRP bazlı önceliklendirme seviyesi budur.

Deney tasarımında (Bölüm 4.5.2) yürütme önceliği faktörünün diğer seviyeleri teslim zamanı esaslı önceliklendirme ve ABC bazlı önceliklendirmedir. Teslim zamanı esaslı önceliklendirmede siparişler kalan teslim sürelerine göre (en yakın en acil) işleme alınmaktadır. ABC esaslı önceliklendirme, DDMRP önceliklendirmesini kullanarak tampon seviyesi kırmızı bölgenin %50'sinin altında olan kalemleri sırasıyla A, B ve C kategorilerinde olanları önceliklendirir. Sonrasında %50 üzerinde kalanlar tekrar A, B ve C kategori sırasıyla işlem görürler.

4.5.3.6 Örnek vaka varsayım ve kısıtları

Çalışmanın varsayım ve kısıtları deney tasarımına etki edeceğinden simülasyon koşumlarından önce belirlenmiş olmalıdır. Çalışmanın varsayımları:

- Üretim operasyonlarında iş gücü kapasitesinin yeterli olduğu kabul edilmiştir. Sadece makine-saat olarak kapasite kısıtı alınmıştır.
- Ürün ağacı üzerinde DDMRP tamponlarının yönetim/planlama amacına uygun olarak konumlandırılmış olduğu kabul edilmiştir.
- Stok maliyet hesabında, SKU'lar için Tablo Ek.1.1'de belirtilen maliyetlerin üretim ortamı maliyetlerini yansıttığı varsayılmıştır.
- Üretimde kayıp, hatalı üretim, depolama kapasitesi ve transfer süreleri yok (etkisiz) sayılmıştır.
- ABC sınıflandırmasının bir yıllık zaman dilimi içerisinde değiştirilmeden kullanılacağı kabul edilmiştir.
- Bir yıllık süre içinde; talep yapısının XYZ ile belirtilen şekilde kalacağı, arıza ve tamir yapısını oluşturan MTTR ve MTBF dağılımlarının değişmeyeceği var sayılmıştır.

Örnek vakanın tamamının hipotetik verilere dayanıyor olması ve tampon konumlandırmanın "uygun" yapılmış olduğunun kabulü çalışmanın önemli kısıtlamalarıdır.

4.5.4 Simülasyon modelinin oluşturulması

Çalışmada, örnek vakadaki (Bölüm 4.5.3) vakadaki üretim ortamına dayandırılan kavramsal model esas alınarak kesikli olay simülasyon (KOS) modeli oluşturulmuştur. Bu maksatla bilgisayar ortamında KOS modelinin geliştirilmesinde, açık kaynak simülasyon yazılımı olan JaamSim (JaamSim, 2022) kullanılmıştır. DDMRP işleyiş mantığı ve deney tasarımı için özel yazılım kütüphanesi Java programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Mevcut ticari simülasyon yazılımlarına (Ör. Arena, AnyLogic, Simio, vb.) kıyasla daha fazla serbest kullanım ve geliştirme özgürlüğü sağladığı için açık kaynak bir yazılım üzerinde istenen esneklikte simülasyon ve deney tasarımı kütüphanesi geliştirilmiştir.

Geliştirilen simülasyon modeli öncelikle jenerik yapıda ve veri güdümlü olarak tasarlanmıştır. Çünkü bu yapıdaki simülasyonlar tasarlandıkları sınırlar içerisinde olmak kaydıyla sadece gerekli verilerin girilmesiyle uygun modelin otomatik olarak üretilmesine olanak sağlamaktadır (Kassen vd., 2021). Böylece ele alınan örnek vakayı tanımlayan (Bölüm 4.5.3) veri yapısı ve deney tasarımına (Bölüm 4.5.2) ait faktörlerin modele girilmesiyle istenen yapının çalışacağı simülasyon modeli süratle ve dinamik olarak oluşturabilmektedir.

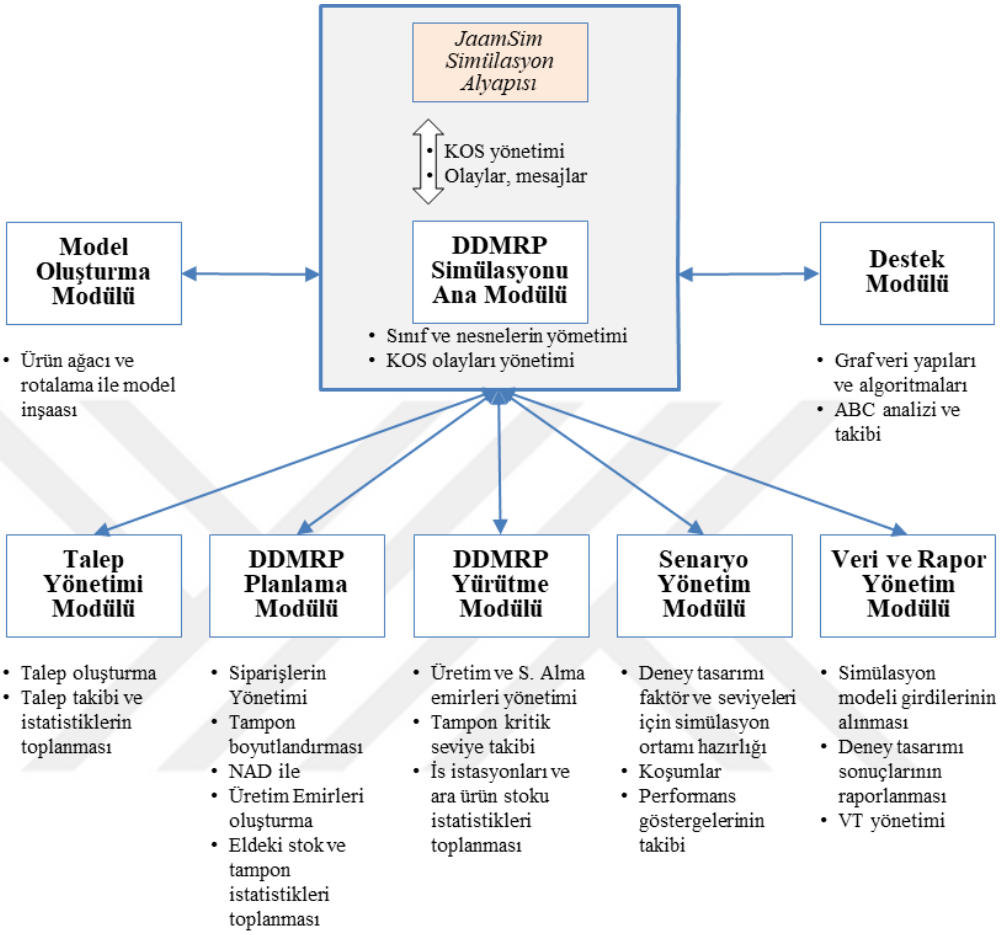
4.5.4.1 Simülasyon modelinin yapısı

Oluşturulan simülasyon modelinin temel yapısı ve alt modülleri Şekil 20'de sunulmuştur. DDMRP Simülasyon modeli nesne tabanlı yaklaşım ile JaamSim (JaamSim, 2022) altyapısı kullanılarak Java dilinde geliştirilmiştir. Simülasyon modelindeki (Şekil 20) ana modül ve alt modüllerin işleyiş prensibi aşağıda verilmiştir:

DDMRP Ana Simülasyon Modeli: Bu ana modül, DDMRP mantığını işletecek java sınıflarına (class) ait nesnelerin başlatılması ve JaamSim simülasyon yapısı içerisinde uygun varlıklar (entity) olarak tanımlanmasını yöneten esas sınıftır.

Model Oluşturma Modülü: Model oluşturucu, hazır bir veri dosyasını kullanarak DDMRP simülasyon modelini koşuma hazır olarak inşa eder. Bu veri dosyası, başta ürün ağacı ve rotalama gibi bilgiler olmak üzere, deney tasarımı, üretim ortamı ve kullanılan

vaka özelliklerini uygun formatta bünyesinde barındırır. Dosya, veri tabanında tutulan farklı bilgilerin raporlanması ile veya elle oluşturulabilmektedir.



Şekil 20. DDMRP Simülasyon Modeli Yapısı

Talep Yönetimi Modülü: Ürün ağacında satılabilir ürünler olarak belirtilen her ürün için, örnek vakada tanımlanan talep yapısını uygun olarak satış siparişleri oluşturur. Siparişlerin karşılanması ve gecikme ve iptal gibi durumlar ile SKO istatistiğini takip eder.

Planlama Modülü: Simülasyon başlangıcında ilgili tamponları belirtilen boyutlarda oluşturur. Günlük olarak siparişlerin karşılanmasını ve net akış denklemi kullanarak gereken tedarik (üretim veya satın alma) emirlerini oluşturur. Tamponların eldeki stok

durumu ve ilgili istatistiklerini takip eder. DDMRP yapısındaki MRP patlatma mantığını tamponsuz SKU'lar için uygular.

Yürütme Modülü: Temel olarak üretim ve satın alma emirlerinin yerine getirilmesini sağlar. Tampon seviyelerini, DDMRP yürütme kritik seviye mantığı ile takip eder. İş istasyonlarında oluşan ara ürün stok durumu ile ilgili istatistikleri toplar.

Senaryo Yönetim Modülü: Simülasyonun aşamalar halinde istenen model yapısında çalıştırılmasını sağlar. Deney tasarımı faktör ve seviyeleri için simülasyon ortamını doğru şekilde oluşturur. Koşumların yapılması ve belirlenen performans göstergelerinin takip eder ve toplar.

Veri ve Rapor Yönetim Modülü: Modele girdi sağlayacak örnek vaka verilerini saklar, senaryo ve deney tasarımı gereklerine göre ilgili girdileri veri yapısı ile sağlar. Koşumlar esnasında ve sonrasında başta deney tasarımı performans göstergeleri (yanıt değişkenleri) olmak üzere sonuçları veri tabanına aktarır. İstenen sorgu sonuçlarını ve raporları oluşturur.

Destek Modülü: Bu modül, ihtiyaç duyulan veri yapıları ve basit algoritmaları barındırır (ör. graf veri yapısı ve basit ağaç algoritmaları). Ürün ağacını etkin kullanarak DDMRP ve MRP mantığına uygun patlatma ve hesaplamaları süratle yapar. Benzer şekilde ABC analizlerinin yapılmasını takip eder.

4.5.4.2 Modelin doğruluğu ve geçerliliği

Simülasyon çalışmalarının önemli adımlarından biri de doğrulama (verification) ve geçerleme (validation) işlemleridir. Doğrulama, modelin doğru oluşturulmasını ifade eder. Kavramsal modelin bilgisayar ortamında hatasız kodlanarak, mantıksal akışının ve parametrelerinin olması gerektiği gibi hayata geçirilmesini sorgular. Geçerleme işlemi ise modelin gerçek sistem davranış ve çıktılarını ne kadar doğru temsil ettiğini inceler. Böylece modeli kullanarak yapılacak deneylerin sonuçları ile gerçek sisteme özgü çıkarımlar ve tutarlı tahminler yapılabilir (Banks vd., 2014, s. 387).

Modellin doğrulaması (verification) çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Burada esas sorumluluk ve nihai karar kodlama yapan ekipte olacağından, sonuçların kabulü izlenen

yöntemlerin doğru ve tutarlı uygulanmasına bağlıdır. Çalışmanın doğruluğu için Law (2015, s. 252) tarafından DES modelleri için güçlü bir teknik olarak önerilen "trace" (izle) yöntemi öncelikle uygulanmıştır. Bu yöntemde kodlanan modelin anlık durumu (state), program akışında meydana gelen olaylar (events) bazında durum değişkenleri, olaylar listesi ve tutulan istatistikler ile takip edilir. Modelin tasarımındaki algoritmik ilişkiler düşünülerek hesaplanan manuel veriler ile gerçekleşen veriler kıyaslanarak programın tasarlandığı gibi çalıştığı teyit edilir. Simülasyonun kodlandığı JaamSim yazılımı modeldeki tüm varlıklar (entities) için "trace" yani izleme imkânı sunmaktadır. Bu çalışmada bu yöntemin yanı sıra modelin girdi parametrelerinde yapılan değişikliklerin çıktılarda anlamlı değişiklikler doğurması prensibi de bir diğer doğrulama yöntemi (Law, 2015, s. 252) olarak kullanılmıştır. Bu iki yöntemin modelin her aşama ve modülünde uygulanması sonucu (örnek için EK-2'ye bakınız) modelin istendiği gibi çalıştığı gözlenmiştir.

Modelin geçerliliği (validation) için sonuçlara dayalı geçerleme yöntemi (Law, 2015, s. 262) esas alınmıştır. Bu yöntemde model çıktıları modelin dayandırıldığı gerçek sistem çıktıları ile karşılaştırılmaktadır. Çalışmada esas alınan örnek vaka (Bölüm 4.5.3) literatürde yer alan benzer çalışmalardan (Miclo, 2016; Bayard vd., 2021; Dessevre vd., 2021; Jiang & Rim, 2016) uyarlanarak geliştirilmiştir. Bu nedenle, oluşturulan DDMRP simülasyon modelinde Miclo'nun (2016) çalışmasında kullandığı örnek vaka kullanılarak sonuçlar açısında geçerliliğe tabi tutulmuştur. Miclo'nun örnek ürün ağacı ve üretim ortamı yapısı aynı parametrelerle çalıştırılmış ve çıkan sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuçlar, geliştirilen simülasyon modelinin hedeflenen DDMRP işleyişini doğru temsil ettiğini göstermektedir (EK-2).

4.5.5 Simülasyon deneyleri ile veri oluşturulması

Deney tasarımındaki 243 tasarım noktasının (Bölüm 4.5.2) her biri 10 replikasyon ile çalıştırılacağından toplam 2430 simülasyon koşumuna ait veriler elde edilecektir. Simülasyon modeline entegre edilen raporlama sistemi ile 2430 koşuma ait aşağıdaki tabloda sunulan başlıklarda veriler elde edilebilmektedir.

Tablo 14. Deney Tasarımında Raporlanan Veriler ve Tanım Etiketleri

Faktörler	Toplanan Performans Göstergeleri
XYZ Kategorisi (XYZ), Değişkenlik Faktörü (DegFak), Yürütme Önceliği (YurOnc) Temin Süresi Faktörü (TsFak), Stok Noktaları (StokYeri)	Toplam Stok Maliyeti (TopStokMly), Ortalama Sipariş Karşılama Oranı (OrtSKO), Toplam Ortalama Stok (TopOrtStok), Stok Devir Hızı (StokDevHz), Ortalama Temin Süresi, Stok Devir Hızı (Adet), Toplam Satış Hacmi, Toplam Yarı Ürün S. Maliyeti, Toplam Yarı Ürün Stoku, Toplam Tampon S. Maliyeti, Toplam Tampon Stoku, Toplam Ortalama Stok (A)(B)(C), Toplam Tampon Stoku (A)(B)(C), Toplam Yarı Ürün Stoku (A)(B)(C), Toplam Stok Maliyeti (A)(B)(C), Toplam Tampon S. Maliyeti A)(B)(C), Toplam Yarı Ürün S. Maliyeti (A)(B)(C), Stok Devir Hızı (A)(B)(C), Ortalama Sipariş Karşılama Oranı (A)(B)(C), Ortalama Temin Süresi A)(B)(C)
Not: (A)(B)(C) ile gösterilenler A, B ve C kategorilerinin her biri için ayrı ayrı raporlanır. Ayrıca parantez içinde koyu olarak verilenler ilgili değişken veya faktörün deneyler kapsamındaki kısaltılmış tanım etiketi olarak kullanılacaktır.	

Yukarıda raporlanan göstergelerin her biri ayrıca ürün ağacındaki SKU'lar bazında ve 2430 koşum için oluşturulmaktadır. Raporlanan veriler işlem için ilişkisel bir veri tabanında aktarılarak tutulmaktadır.

4.5.5.1 Deney tasarımı sonuçlarının analizi

Deney çalışmasında 3^5 tam faktöriyel tasarım esas alındığından faktör ve seviyelerinin etkileri ve etkileşimleri oluşturulan regresyon modelleri ile incelenecektir. Modellerde, OrtSKO ve TopOrtStokMly performans kriterleri bağımlı değişken (yanıt değişkeni); XYZ talep değişkenliği, stok pozisyonları, yürütme önceliği, TS ve değişkenlik faktörleri ise bağımsız değişkenlerdir. Performans yanıtları ayrıca ABC kategorileri bazında ele alınacaktır.

Deney tasarımı sonuçları regresyon ağaçları kullanılarak analiz edilecektir. Regresyon ağaçları ile çok sayıda regresyon modelinin vereceği bilgi, göreceli olarak çok daha anlaşılır ve takip edilebilir şekilde sunulabilmektedir. Regresyon ağaçları simülasyon çıktıları ile istatistiksel model kurmada kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. Yanıtı açıklayan simülasyon sonuçları tüm faktörler için başlangıçta tek bir düğümde toplanır. Daha sonra düğüm; her ayrılmada düğümler arasında değişkenlik artarken, düğüm içinde değişkenliğin azalmasını sağlayacak şekilde ikiye ayrılır. Bölünme, modelde bağımsız değişkenlerin yanıttaki değişkenliği açıklama ölçüsü olan R-kare (R^2)

değeri değişmeyene kadar devam ettirilir. Böylece deney tasarımı simülasyon sonuçlarının anlamlı ve diğerlerinden farklı alt kümeleri belirlenmiş olur (Kang vd., 2006).

Regresyon modelleri, regresyon ağaçlarında belirlenen en etkili faktörlerin teyidini yapmak ve yanıt üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için kullanılacaktır. Bu kapsamda varyans analizleri (ANOVA) ve anlamlılık testleri (F istatistiği) ile etki ve etkileşimlerin varlığı ve anlamlılık seviyeleri belirlenecektir.

5. DENEYLERİN UYGUNLANMASI VE BULGULAR

Bu bölümde icra edilen deney sonuçları incelenerek hangi koşullarda daha iyi performans sağlanabileceği araştırılacaktır. Bulgular doğrultusunda öncelikle ABC kategorilerine yönelik performans önerileri çerçeve yaklaşım olarak belirlenecektir.

5.1 Deney Öncesi Simülasyon Verilerinin Hazırlanması ve Girilmesi

Çalışmada esas alınan örnek vaka özellikleri Bölüm 4.5.3'te, vakada kullanılan ürün ağacı kalemleri ve başlangıç özellikleri ise EK-1, Tablo Ek.1.1'de yer almaktadır. Örnek vakadaki yapı ve özellikler kullanılarak Bölüm 4.5.4'teki veri yönetim modülüyle başlangıç verileri simülasyon modeline otomatik olarak yüklenmektedir.

5.2 Senaryo-1 Çalıştırılması ve ABC Kategorilerinin Atanması

Senaryo-1, örnek vakanın başlangıç değerleri (tampon stoklar son ürünlerde, TSF ve DF ortalama düzey olan 0.5 seviyesinde ve talep değişkenliği X, %5 seviyesinde) esas alınarak 1.5 yıllık süreyle (6 ay ısınma, 12 ay istatistik toplama) çalıştırılmıştır. Senaryo-1 ile öncelikli olarak ABC kategorilerinin belirlenmesini hedeflediğinden son ürünlerin ABC analizi yapılmıştır. Son ürünlerin 1 yıllık toplam satış tutarları üzerinden yapılan ABC analizine göre 48 kalemin 11 adedi satış hacminin %70'ini, 16 adedi %20'sini ve 21 adedi de %10'nu oluşturmuştur.

Tablo 15. Senaryo-1 Sonuçlarına Göre ABC Atamaları

ABC Kategorisi	SKU'lar	Adedi ve Yüzdesi
A	SKU101, SKU138, SKU126, SKU114, SKU112, SKU137, SKU144, SKU142, SKU106, SKU121, SKU105	11 ad. - %70
B	SKU129, SKU139, SKU143, SKU110, SKU111, SKU109, SKU113, SKU132, SKU146, SKU133, SKU102, SKU103, SKU118, SKU120, SKU148, SKU134	16 ad. - %20
C	SKU130, SKU115, SKU116, SKU127, SKU141, SKU135, SKU131, SKU125, SKU145, SKU119, SKU117, SKU123, SKU107, SKU104, SKU122, SKU124, SKU147, SKU136, SKU108, SKU128, SKU140	21 ad. - %10

Aynı analiz, Senaryo-1'de kullanılan talep dağılımlarının ortalamaları kullanılarak analitik olarak da hesaplanmıştır. Sonuçların aynı çıkması, oluşturulan simülasyon modelinin doğruluğunu göstermesi bakımından önemlidir.

5.3 Simülasyon Deneyi (Senaryo-2) ve Sonuçları

Oluşturulan 243 deney (tasarım noktası), 16 GB RAM ve 4 çekirdekli 2.6GHz Intel® Core™ i7 işlemciye sahip dizüstü bilgisayarda çalıştırılmıştır. Her bir tasarım noktasının çalıştırılması (10 tekrarla birlikte) yaklaşık 240 saniye sürmektedir (Toplam 243 deney, 2430 koşum için süre yaklaşık 5,5 saat).

Deney tasarımının tüm adımları tamamlandıktan sonra, her faktör ve seviyeleri için performans kriterleri ve takip edilen diğer istatistikler, simülasyon modeli tarafından 243x82 boyutlarında matris yapısında raporlanır. Oluşturulan rapor, performans kriterlerine, yani yanıt değişkenlerine ait ortalamaları ve standart sapmaları içermektedir. Raporun ilk 10 tasarım noktasının bir bölümü Tablo 16'da örnek olarak sunulmuştur. Raporun tamamı EK-4, Tablo Ek.4.1'dedir.

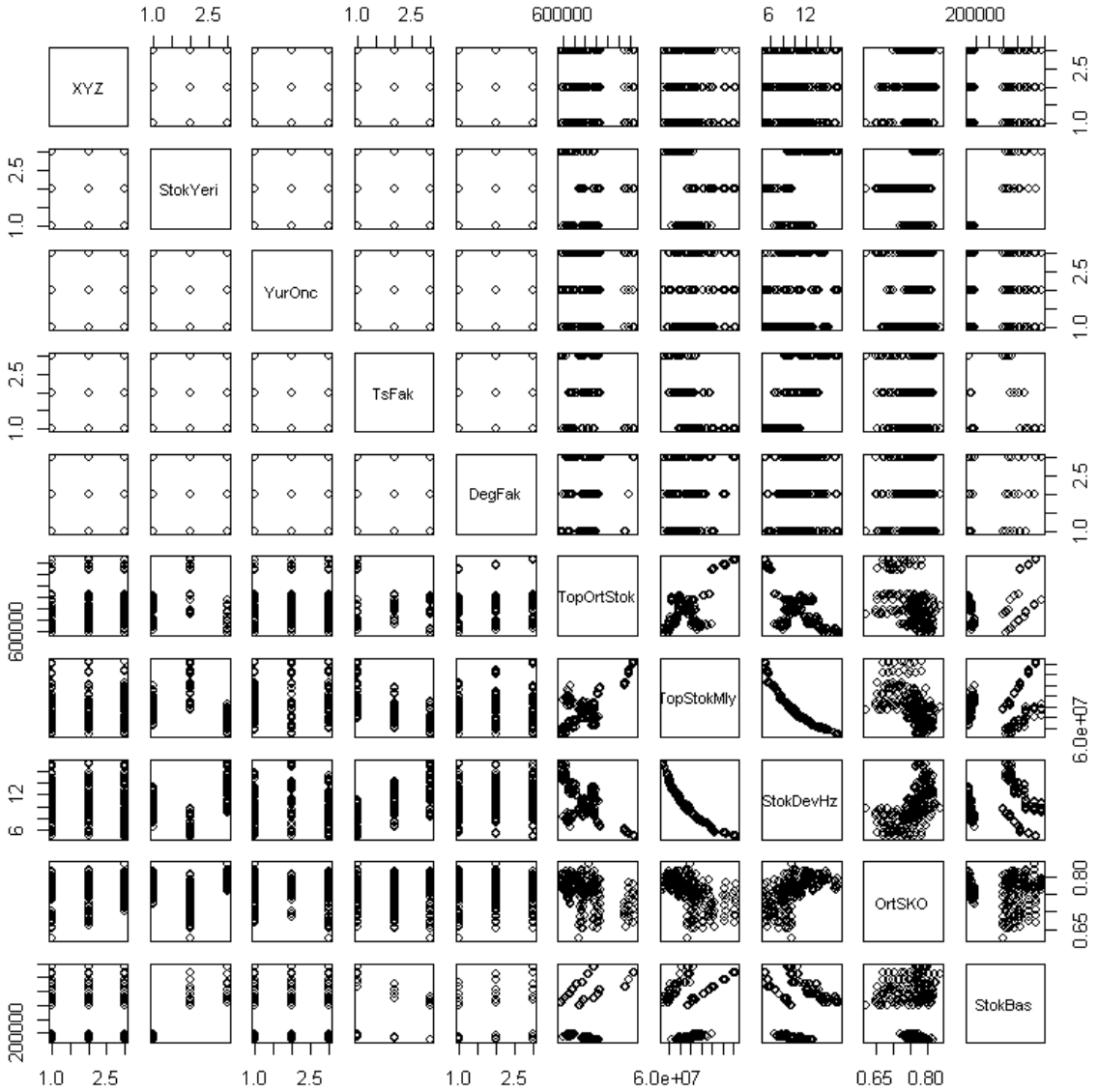
Tablo 16. Senaryo-2 Deney Tasarımı Sonuçları (Kısmi Örnek)

No	Tasarım Kodu	TopStokMly (para birimi)		OrtSKO		TopOrtStok (adet)		StokDevHz	
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
1	1-1-1-1-1	113,945,938	3,065,065	0.77	0.016	619,235	23,904	8.17	0.123
2	1-1-1-1-2	116,122,448	5,695,127	0.76	0.029	670,473	32,604	7.92	0.321
3	1-1-1-1-3	117,184,572	7,833,810	0.74	0.043	686,461	41,000	7.72	0.354
4	1-1-1-2-1	86,581,422	1,606,169	0.77	0.024	939,431	43,321	10.58	0.345
5	1-1-1-2-2	94,947,977	5,967,545	0.79	0.037	956,895	60,859	10.01	0.647
6	1-1-1-2-3	97,594,593	10,876,756	0.77	0.038	954,156	47,171	9.66	0.947
7	1-1-1-3-1	72,423,857	1,308,473	0.81	0.017	1,116,251	61,002	12.70	0.229
8	1-1-1-3-2	74,732,532	3,749,254	0.80	0.023	1,139,708	41,133	12.09	0.389
9	1-1-1-3-3	74,191,269	3,106,780	0.79	0.025	1,121,572	69,529	12.18	0.288
10	1-1-2-1-1	103,151,943	1,414,505	0.75	0.004	691,378	27,521	8.86	0.106

AÇIKLAMALAR:
Sütun başlıkları kısaltılarak kullanılmıştır. Performans ölçütleri ortalama ve standart sapmalarıyla verilmiştir. Tasarım kodu sütunu sırasıyla XYZ, StokYeri, YurOnc, TsFak ve DegFak faktörlerinin simülasyon koşumunda kaçıncı seviye olduklarını gösterir.

Tasarım kodu sütunu, deneyde kullanılan faktörlerin (sırasıyla XYZ, StokYeri, YurOnc, TsFak ve DegFak) simülasyon koşumunda hangi seviyesinin esas alındığını göstermektedir. Örneğin 1-1-1-3-2 tasarım kodu, X değişkenlik seviyesi, son ürünlerde tampon stok, yürütme önceliği DDMRP mantığı, TSF uzun ve DF orta seviyelerini ifade etmektedir.

İlk olarak faktörler ve performans göstergelerinin görsel olarak ilişkilerini görebilmek için elde edilen deney tasarımı verilerinin saçılım diyagramları kullanılacaktır. Oluşturulan saçılım diyagramı **Şekil 21**'dedir.



Şekil 21. Senaryo-2 (Deney Tasarımı) saçılım diyagramları

Çalışma genelindeki analizlerde, deney tasarımının bağımlı ve bağımsız değişkenlerinin etiket isimleri (Tablo 14) ile kullanılacağını belirtelim. Örneğin stok yeri faktörü için StokYeri, değişkenlik faktörü için DegFak ve ortalama sipariş karşılama oranı için OrtSKO şeklinde. XYZ faktörü ile XYZ analizi ifadelerinin kullanımında, metin içerisinde hangisinin işaret edildiğinin anlatım bağlamından anlaşılmasına dikkat edilecektir. Ayrıca sunulacak şekil ve grafiklerde faktör seviyeleri, Tablo 9'da ifade edilen sembol ve kısaltmalar kullanılarak sunulacaktır.

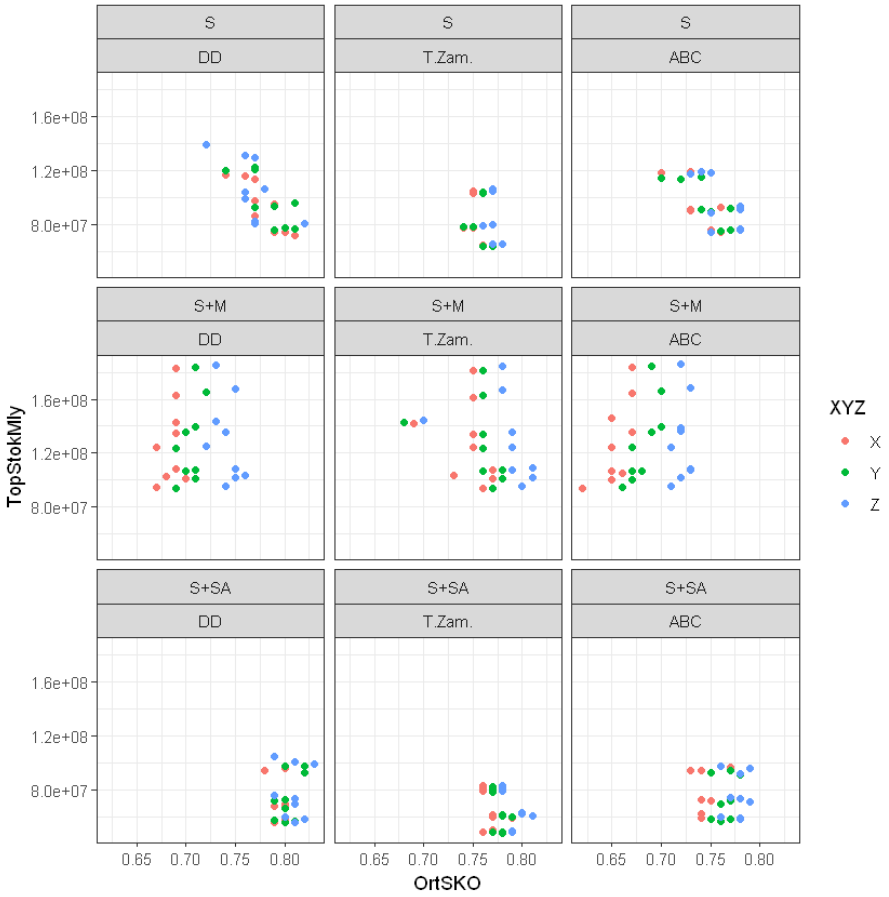
Saçılım diyagramında (Şekil 21) girdi değişkenlerinin tamamı kategorik olduğundan tasarım nedeniyle korelasyon ilişkileri olmadığı açıkça görülmektedir. Çıktı değişkenlerinden TopStokMly ile StokDevHz arasında gözüken negatif yönlü ilişki stok devir hızı formülünde stok maliyetinin paydada yer almasının doğal sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. TopOrtStok, maliyetin içerisinde yer aldığından TopStokMly ve StokDevHz ile benzer ilişkiyi daha zayıf olarak sergilemektedir. Faktörler kategorik yapıda olduğundan yanıt değişkenleri üzerindeki etkileri kesikli olarak gözükmektedir. XYZ faktörü tüm seviyelerinde yanıtlar üzerinde aynı etkiye sahip gibi gözükürken StokYeri, YurOnc ve TsFak, seviyelerine göre yanıtlar üzerinde farklı etkileri olduğu görülmektedir. StokYeri 2'nin diğer 1 ve 3. seviyelerine göre TopStokMly ve OrtSKO performansında zayıf kaldığı anlaşılmaktadır. DegFak ise XYZ kadar olmasa da seviyelerinin yanıtlardaki etkisi sınırlı kalmaktadır. Tüm bu hususların daha detaylı incelenmesi ve faktör-yanıt ilişkisinin anlaşılması gereklidir. Bu kapsamda özellikle performans göstergelerinin içerisinde gömülü olan ABC kategorili ürünler ile faktörlerin etkileri belirlenmeye çalışılacaktır.

5.3.1 Genel performans göstergelerinin incelenmesi

Senaryo-2 deney tasarımında esas alınan faktörlerin (StokYeri, XYZ, YurOnc, TsFak ve DegFak) performans kriterleri, yani yanıtlar (TopStokMly ve OrtSKO) üzerindeki etkilerini inceleyelim. Bu maksatla ayrı ayrı çok sayıda grafik yerine uygun olduğu durumlarda tüm faktörlerin yanıtlar üzerindeki etkilerinin topluca görülebileceği grafikler kullanılacaktır.

Öncelikle doğrudan tampon boyutlandırma parametresi olmayan StokYeri, XYZ ve YurOnc faktörlerinin etkilerini görelim. Bu faktörlerin TopStokMly ve OrtSKO üzerindeki etkileri grafik olarak **Şekil 22**'de sunulmuştur.

StokYeri faktörü 3. seviyesinde (son ürünler ve satın alınan ürünlerde tampon olduğu durum, 'S+SA', şekildeki en alt sıra), TopStokMly diğer StokYeri seviyelerine göre daha düşük gerçekleşmektedir. Bu seviyede OrtSKO da yüksek gerçekleşmekte ve diğer iki faktör olan XYZ ve YurOnc seviyeleri çok dağılmamaktadır.

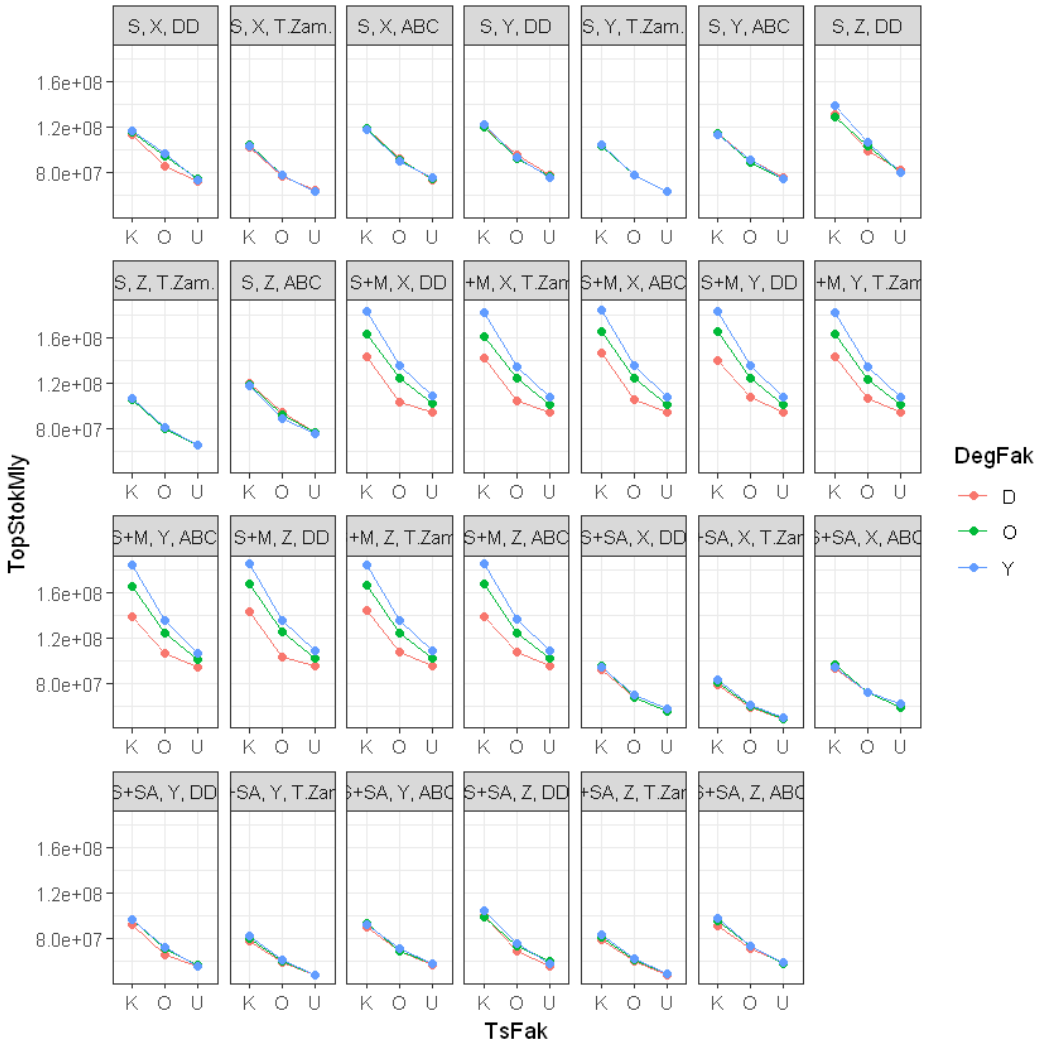


Şekil 22. TopStokMly ve OrtSKO Üzerinde Genel Faktör Etkileri

StokYeri 2. seviyede (son ürünler ve montaj ürünlerde tampon, S+M, orta sıra) stok maliyetlerinin yüksek ve OrtSKO'nın düşük olduğu görülmektedir. Bu seviyede iki husus dikkat çekmektedir. Yürütme önceliğinde DDMRP ve ABC benzer seviyelerde iken teslim zamanını esas alan önceliklendirme daha yüksek OrtSKO sunmaktadır. Diğer bir husus ise, hücre içindeki XYZ dağılımlarına bakıldığında talep değişkenliğindeki artışın

beraberinde OrtSKO'nda da artış getirmesidir. StokYeri diğer seviyelerinde XYZ etkisi bu kadar belirgin değildir. Bu husus ileride ayrıca ele alınacaktır. StokYeri 1.seviyede (sadece son ürünlerde tampon, 'S', ilk sıra); yürütme önceliği DDMRP iken azalan stok maliyeti ve artan OrtSKO ilişkisi görülmektedir. StokYeri 1'de önceliklendirme teslim zamanı veya ABC esaslı olduğunda StokYeri 3 benzeri bir yapı ortaya çıkmaktadır.

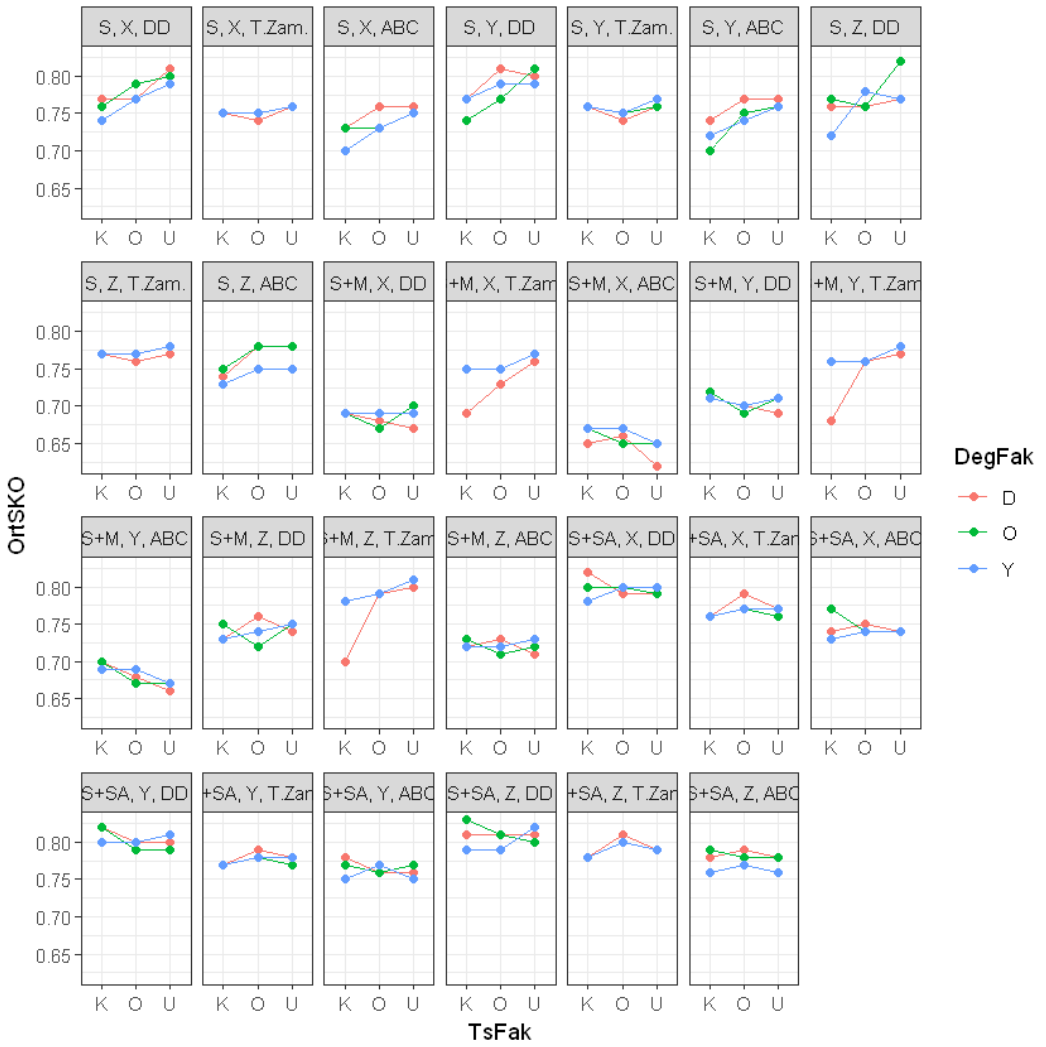
Şimdi, TsFak ve DegFak faktörlerini de göz önüne alarak grafik üzerinden sonuçları incelemeye devam edelim. Toplam 5 faktörü tek bir grafik üzerinde inceleyebilmek için önce TopStokMly üzerindeki etkileri görelim (**Şekil 23**).



Şekil 23. TopStokMly Üzerinde 5 Faktörün Etkisi

Öncelikle tüm seviyelerde dikkat çeken husus, TsFak seviyelerindeki kısadan uzuna olan artış, stok maliyetlerinde düşüş sağlamaktadır. DDMRP uzun kategorideki ürün tamponları için daha küçük faktör atadığından bu durum daha küçük tampon boyutu (yeşil bölge) oluşturmaktadır. Amaç uzun TS olan ürünler için daha sık ve daha küçük siparişler oluşturmayı sağlamaktır (Ptak ve Smith, 2008). Bu yaklaşım stok maliyetleri açısında işliyor gözükmektedir. Aynı durumun OrtSKO performansında nasıl etki gösterdiği ayrıca incelenecektir. Bunun dışında, bir önceki grafikte (Şekil 21) gördüğümüz StokYeri 3. seviyenin (S+SA) en az stok maliyeti oluşturan etkisi burada da belirgindir. Ayrıca TsFak'nün azaltıcı etkisi görülürken, DegFak bir etki oluşturmamaktadır. Benzer durum StokYeri'nin diğer seviyeleri için de önceki grafikte olduğu gibidir. StokYeri 2. seviyesinde (S+M) DegFak seviyesinin yükselmesi ile stok maliyetindeki artış belirgindir. XYZ ve YurOnc için belirgin bir husus görülmemektedir.

Benzer şekilde OrtSKO üzerindeki beş faktörün etkisi Şekil 24'te sunulmuştur.



Şekil 24. OrtSKO Üzerinde 5 Faktörün Etkisi

Öncelikle Şekil 24'te, bir önceki grafikte olduğu kadar belirgin etkiler hemen görülmemektedir. OrtSKO üzerindeki faktör etkilerine bakıldığında ilk olarak StokYeri 1. ve 3. seviyelerinin, göreceli olarak 2. seviyeden daha yüksek OrtSKO sunduğunu söylenebilir. StokYeri 1'de, TsFak artışı OrtSKO artışı sağlamakta iken, bu husus diğer StokYeri seviyeleri için belirgin değildir. Önceki grafikte (Şekil 23), StokYeri seviyelerinin hepsinde TsFak seviyelerindeki artış stok maliyetlerinde düşüş, yani performans artışı sağlamakta iken, burada aynı durum söz konusu değildir. Bu noktada faktör etkileşimlerinin temel faktör etkisinin önüne geçtiği söylenebilir. Önceliklendirme faktörü YurOnc 2.seviyesi, yani teslim zamanı esaslı önceliklendirme, StokYeri 2'de

diğer iki önceliklendirme seviyesi olan DDMRP ve ABC'den göreceli olarak daha iyi OrtSKO performansı sunmaktadır. Diğer faktör etkileri grafik üzerinde belirgin değildir.

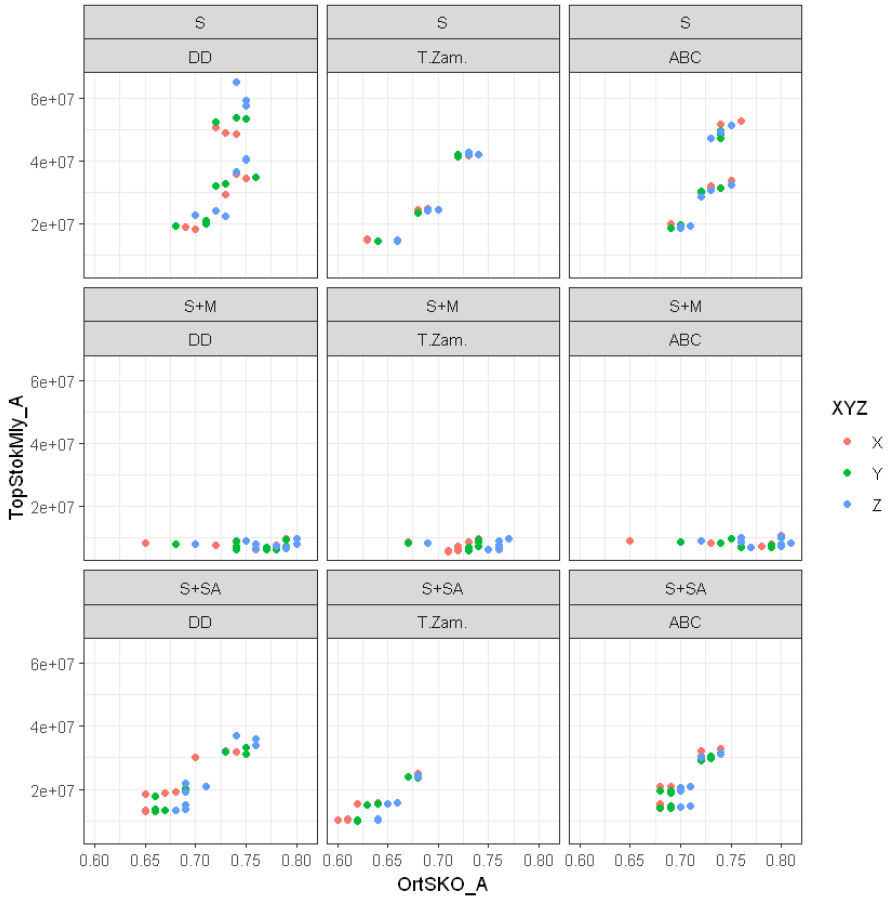
Yukarıda sunulan ve sadece tek faktör etkisi üzerinden açıklanan sonuçlar ile ilgili olarak öne çıkan hususlara bakıldığında; StokYeri 3. seviyesinin TopStokMly performansının diğer seviyelerinden iyi olması satın alınan ürünlerdeki tampon nedeniyle son ürünlerde oluşan daha kısa ATS uzunluğunun tampon boyutuna etkisi ile açıklanabilir. Bu bakış montaj ürünlerde tampon öngören StokYeri 2. seviyesinin son ürünlere daha kısa ATS sunduğu gerçeği ile tezat görülebilir, ancak maliyetler göz önüne alındığında daha ucuz olan satın alınan ürünler lehine StokYeri 3. seviye öne çıkmaktadır.

Diğer bir husus XYZ faktörü tüm seviyelerinde TopStokMly için benzer performans gösterirken, OrtSKO için sadece StokYeri 2. seviyede artan bir etki göstermesidir. StokYeri 2. seviye son ürün ve montaj ürünlerde stok tutulan seviye idi. Bu noktada ürün ağacı yapısı (Şekil 18) etkili olmaktadır. Son ürünlerin bir alt seviyesi olan 200 serisi SKU'ların tamamı montaj işlemi ile üretilmektedir. Hem son ürünlerde hem de bir alt seviye olan 200 serisi SKU'larda tampon olması, bu senaryo tasarımı için SKO oranlarını artırmaktadır. Çünkü son ürünler için üretilen tedarik emirleri doğrudan bir alt seviyedeki tampondan, üretim süreci gecikmeleri olmadan karşılanmaktadır. Bu durumda TopStokMly, talep değişkenliği karşısında artmazken OrtSKO artmış olmaktadır. Başka bir bakış açısıyla, artan talep değişkenliği karşısında ardışık yapıda konuşlu DDMRP tamponlarının beklendiği gibi çalıştığı söylenebilir.

5.3.2 ABC bazlı performans göstergelerinin incelenmesi

Önceki bölümde kullanılan yaklaşım, bu sefer ABC kategorilerindeki ürün gruplamaları esas alınarak uygulanacaktır. TopStokMly ve OrtSKO göstergelerinin her bir A, B ve C kategorisi son ürün grupları için olan karşılıklarını değerlendireceğiz.

İlk olarak A kategorisi ürünlerde oluşan toplam maliyeti ve OrtSKO_A'yı Şekil 25'te verilen grafik üzerinden inceleyelim.



Şekil 25. TopStokMly_A ve OrtSKO_A Üzerinde Genel Faktör Etkileri

Hemen göze çarpan ilk husus StokYeri 2'de en az stok maliyetiyle en yüksek OrtSKO_A'nın elde ediliyor oluşudur. Genel performans göstergelerinin incelendiği bir önceki bölümde (Şekil 22) bu husus StokYeri 3'te oluşmuştu. Burada StokYeri 2'de oluşan tampon yapısının öne çıktığını görmekteyiz. StokYeri 2'de, son ürünlerde ve onun bir alt seviyesi olan 200 serisi ürünleri de içeren montaj ürünlerde tampon tutulmaktadır. Dolayısıyla son ürünlere ait ATS minimum (sadece kendi temin süreleri kadar) seviyede olacağından son ürün tampon boyutunda ciddi azalma oluşturacaktır. Örneğin sadece son ürünlere tampon olması durumunda SKU101 için ATS 37 gün olurken bir alt seviyedeki montaj üründeki tampon nedeniyle ATS = TS = 2 gün olmaktadır. Tampon boyutu açısından sadece sarı bölge (ATS x OGK) için (37 - 2) x 125 = 4375 adet daha stok tamponda tutulacaktır (EK-1, Tablo Ek.1.1). Bu durum tutulan stok maliyetlerini başlıca aşağı çeken husus olmaktadır. Ayrıca A grubu son ürünlerin daha maliyetli kalemlerden oluşması bu durumu desteklemektedir. StokYeri 2 ve 3'te YurOnc faktöründe teslim

zamanı esaslı önceliklendirme benzer stok maliyetlerinde diğer seviyelerine göre daha az OrtSKO_A verirken, ABC esaslı önceliklendirme DDMRP'den az da olsa daha iyi performans sağlamaktadır. XYZ seviyelerindeki artış genel olarak StokYeri 2 ve 3'te az da olsa daha iyi OrtSKO_A oluşturmaktadır.

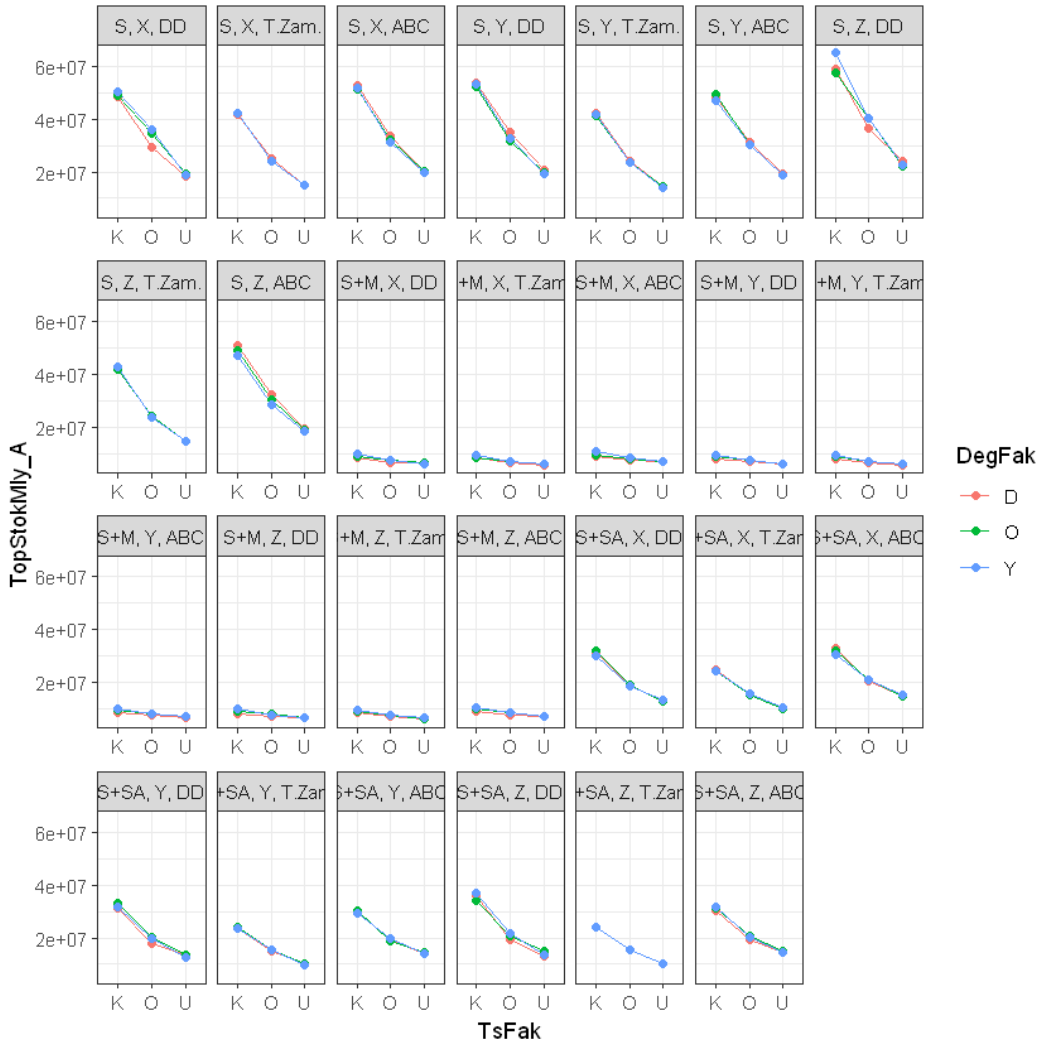
Benzer grafikler B ve C kategorileri bazında toplam stok maliyeti ve OrtSKO_B ve OrtSKO_C için oluşturulmuştur (EK-5, Şekil Ek.5.1 ve Şekil Ek.5.2). Her iki grafik de yukarıda elde edilen sonuçlara oldukça benzerdir.

Genel performans kriterlerinde olduğu gibi ABC bazlı performans kriterlerin için de beş faktörün (TsFak ve DegFak de dahil) tamamının etkilerine bakalım. Bu kısımda yer tasarrufu sağlamak için sadece A (Şekil 26 ve Şekil 27) grubunun grafikleri verilmiştir. B ve C gruplarının grafikleri EK-5'te sunulmuştur.

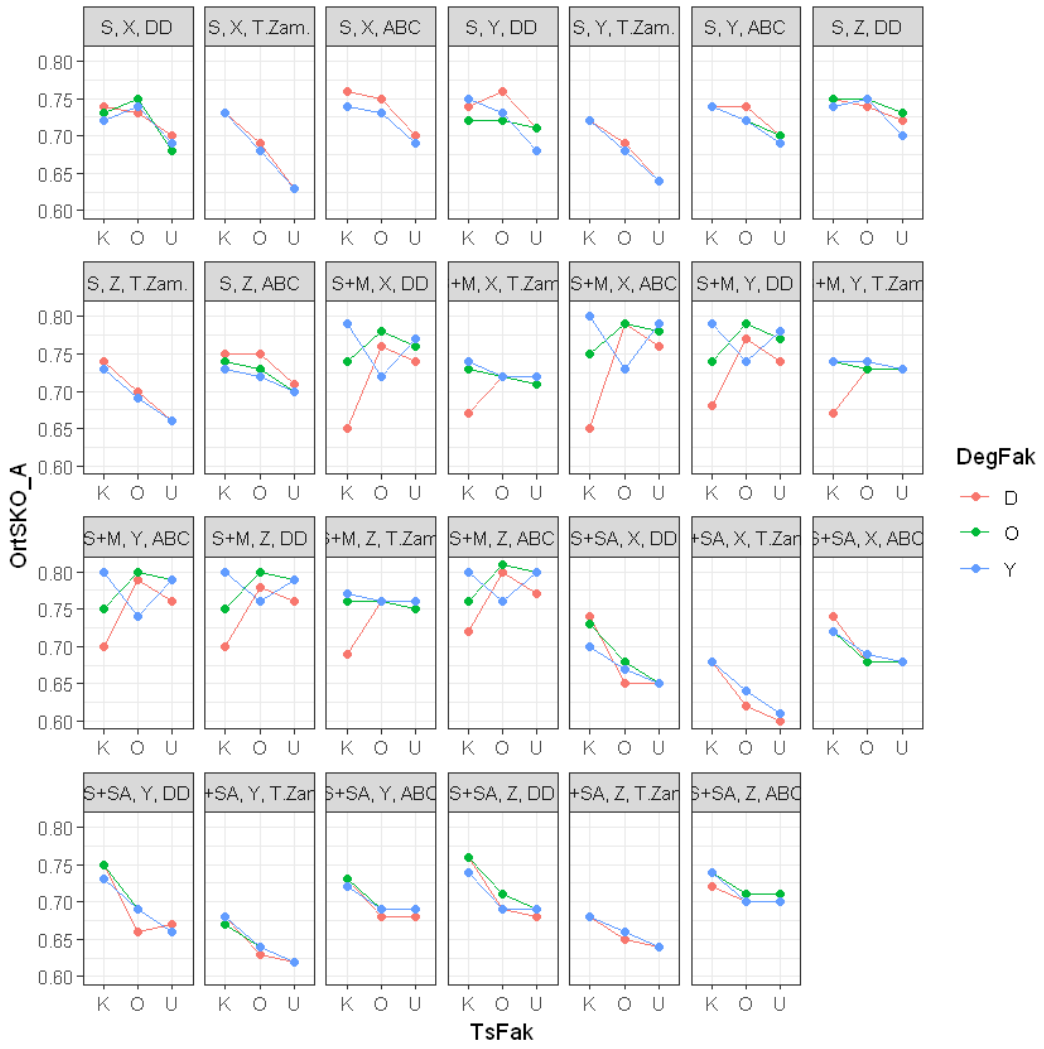
Şekil 26 incelendiğinde Bir önceki grafikte (Şekil 25) StokYeri 2'de oluşan en az maliyetli görünüm burada da öne çıkmaktadır. Benzer şekilde TsFak'nün seviyelerindeki artışın genel olarak tüm faktör seviyeleri için TopStokMly üzerinde azalma sağladığı genel performans kriterleri incelendiğinde görülmüştü. Bu durum TopStokMly_A için de geçerli gözükmektedir. Ayrıca, TsFak seviyelerindeki artışın TopStokMly_A üzerindeki etkisi StokYeri 1'de en fazla iken, StokYeri 2'de en azdır. Başta DegFak olmak üzere diğer faktörlerin belirgin bir etkisi gözlenmemektedir.

Şekil 27'de OrtSKO_A performansına bakıldığında, genel performans göstergesinin aksine StokYeri 2'nin, diğer iki seviyesinden daha iyi OrtSKO_A'nın performansı sağladığı görülmektedir. Ayrıca TsFak seviye artışları StokYeri 1 ve 3'te OrtSKO_A'da azaltıcı etki oluşturmaktadır. DegFak düşük seviyelerinin StokYeri 1'de çok az miktarda OrtSKO_A artış sağladığı izlenmektedir. B ve C kategorisi ürün gruplarının TopStokMly_B ve TopStokMly_C performansları A grubunun TopStokMly_A performansı ile benzerdir. Aynı durum OrtSKO_B ve OrtSKO_C göstergeleri için geçerli değildir. OrtSKO_B, OrtSKO_A'nın aksine StokYeri 1 ve 3'te TsFak artışıyla artarken, OrtSKO_C, sadece StokYeri 1'de benzer artışı göstermektedir. Ayrıca OrtSKO_C genel olarak StokYeri 1 ve 3'te diğer A ve B gruplarına göre yüksek performans göstermektedir. OrtSKO_C ile ilgili dikkat çeken bir husus StokYeri 2'de önceliklendirme faktöründe teslim zamanı esaslı seviyenin, ABC ve DDMRP esaslı

önceliklendirmeden çok daha fazla performans göstermesidir. Bu durum ABC bazlı işleyişin C kategorisini en sona bırakması olarak açıklanabilir. Benzer şekilde DDMRP büyüklük olarak daha fazla hareket ve hacim yaratan ve eksilmesi tampon seviyesini aşağı çeken A ve B kategorisi ürünleri C'den doğal olarak daha fazla önceliklendirmiş olmaktadır.



Şekil 26. TopStokMly_A Üzerinde 5 Faktörün Etkisi



Şekil 27. OrtSKO_A Üzerinde 5 Faktörün Etkisi

5.4 Sonuçların İstatistiksel Analizi

5.4.1 Genel performans göstergeleri için MANOVA ve regresyon analizleri

Önceki bölümlerde yapmış olduğumuz inceleme grafiksel analizlere dayanmakta idi. Faktörlerin, yanıt değişkenleri üzerindeki gözle görülebilir etkilerinin yanı sıra, belirgin olmayan etkilerinin de istatistiksel yöntemlerle anlamlı seviyede varlığının incelenmesi gerekir. Bu maksatla çok değişkenli varyans analizi MANOVA kullanılacaktır. Deney tasarımında kullanılan faktörlerin (bağımsız değişkenler) her bir performans kriteri (bağımlı değişkenler) üzerindeki etkisi nedir? Buradaki hipotezimiz basit şekilde girdi değişkenlerindeki seviye farklılıklarının performans kriterlerini etkilediği olarak ifade

edilebilir. Bu hipotezimizi çok değişkenli varyans analizi ile test etmek için R istatistiksel hesaplama programı (R Core Team, 2022) kullanılacaktır. Analizde, TopStokMly ve OrtSKO performans değişkenleri için deney tasarımında ele alınan 5 faktör ve bunların ikinci derece etkileşimleri değerlendirilecektir. Elde edilen MANOVA sonuçları TopStokMly ve OrtSKO için sırasıyla Tablo 17 ve Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 17. TopStokMly için MANOVA Özet Tablosu

manova(TopStokMly ~ (XYZ + StokYeri + YurOnc + TsFak + DegFak + StokBas)^2)

Response TopStokMly:

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
XYZ	2	3.40E+14	1.70E+14	43.063	5.035e-16	***
StokYeri	2	1.39E+17	6.93E+16	17541.350	< 2.2e-16	***
YurOnc	2	4.17E+15	2.09E+15	528.209	< 2.2e-16	***
TsFak	2	9.16E+16	4.58E+16	11589.294	< 2.2e-16	***
DegFak	2	4.47E+15	2.24E+15	566.015	< 2.2e-16	***
StokBas	1	1.30E+15	1.30E+15	328.180	< 2.2e-16	***
XYZ:StokYeri	4	9.69E+13	2.42E+13	6.133	0.0001192	***
XYZ:YurOnc	4	2.45E+14	6.13E+13	15.517	6.220e-11	***
XYZ:TsFak	4	4.25E+13	1.06E+13	2.688	0.0327932	*
XYZ:DegFak	4	6.56E+12	1.64E+12	0.415	0.797868	
XYZ:StokBas	2	1.20E+13	6.00E+12	1.519	0.2216557	
StokYeri:YurOnc	4	2.14E+15	5.34E+14	1 135.236	< 2.2e-16	***
StokYeri:TsFak	4	6.63E+15	1.66E+15	419.158	< 2.2e-16	***
StokYeri:DegFak	4	4.92E+15	1.23E+15	311.315	< 2.2e-16	
StokYeri:StokBas	2	8.39E+14	4.19E+14	106.111	< 2.2e-16	
YurOnc:TsFak	4	1.65E+14	4.12E+13	10.416	0.0000001	***
YurOnc:DegFak	4	3.14E+13	7.84E+12	1.984	0.0987408	▪
YurOnc:StokBas	2	1.02E+13	5.11E+12	1.292	0.2772621	
TsFak:DegFak	4	5.68E+13	1.42E+13	3.594	0.0075882	**
TsFak:StokBas	2	6.14E+12	3.07E+12	0.777	0.4611841	
DegFak:StokBas	2	5.43E+13	2.71E+13	6.866	0.0013357	**
Residuals	181	7.15E+14	3.95E+12			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tablo 17'deki MANOVA sonuçlarına geçmeden analiz için oluşturulan modele açıklayıcı değişken olarak başlangıç toplam stok düzeyini ifade eden StokBas teriminin eklendiğini belirtelim. StokBas, deney tasarımının koşulacak her bir deneyinin başlangıçtaki tampon büyüklüklerinin toplamı ile elde edilmektedir. MANOVA testi için anlamlılık düzeyi $\alpha = 0.05$ alındığında; sonuçlar bize, TopStokMly değişkeninde (Tablo 17), XYZ, StokYeri, YurOnc, TsFak, DegFak ve StokBas faktörleri bazında meydana gelen değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. İkili etkileşimlerin de çoğu anlamlı seviyede etkili görülmektedir. XYZ:DegFak, XYZ:SokBas, StokYeri:DegFak, StokYeri:SokBas, YurOnc:DegFak, YurOnc:StokBas ve DegFak:StokBas faktör etkileşimleri ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

OrtSKO performans değişkeni için (Tablo 18) faktör DegFak anlamlı seviyede çıkmamaktadır. XYZ faktörünün TsFak, DegFak ve StokBas faktör etkileşimleri ile StokYeri:TsFak ve DegFak:StokBas faktör etkileşimleri de OrtSKO üzerinde anlamlı seviyede etki oluşturmamaktadır. MANOVA test sonuçları, Bölüm 5.3.1'de grafik olarak incelenen sonuçlarla uyumlu gözükmektedir.

Tablo 18. OrtSKO için MANOVA Özet Tablosu

manova(OrtSKO ~ (XYZ + StokYeri + YurOnc + TsFak + DegFak + StokBas)^2)

Response OrtSKO:

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
XYZ	2	0.033491	0.016746	99.631339	< 2.2e-16	***
StokYeri	2	0.159365	0.079683	474.086222	< 2.2e-16	***
YurOnc	2	0.061262	0.030631	182.243671	< 2.2e-16	***
TsFak	2	0.005291	0.002646	15.740929	0.0000005	***
DegFak	2	0.000565	0.000283	1.682069	0.188883	
StokBas	1	0.005602	0.005602	33.331724	3.320e-08	***
XYZ:StokYeri	4	0.013877	0.003469	20.640229	4.986e-14	***
XYZ:YurOnc	4	0.003691	0.000923	5.490595	0.0003404	***
XYZ:TsFak	4	0.000506	0.000127	0.752891	0.5572871	
XYZ:DegFak	4	0.000928	0.000232	1.380912	0.2422953	
XYZ:StokBas	2	0.000430	0.000215	1.278645	0.2809169	
StokYeri:YurOnc	4	0.055862	0.013965	83.089775	< 2.2e-16	***
StokYeri:TsFak	4	0.000872	0.000218	1.297540	0.2727143	
StokYeri:DegFak	4	0.004454	0.001113	6.624375	0.0000536	***
StokYeri:StokBas	2	0.001000	0.000500	2.974089	0.0535968	.
YurOnc:TsFak	4	0.002336	0.000584	3.4743	0.0092221	**
YurOnc:DegFak	4	0.002691	0.000673	4.003176	0.0038919	**
YurOnc:StokBas	2	0.005074	0.002537	15.095182	0.0000009	***
TsFak:DegFak	4	0.002279	0.000570	3.390266	0.0105717	*
TsFak:StokBas	2	0.001911	0.000956	5.684999	0.0040316	**
DegFak:StokBas	2	0.000230	0.000115	0.6837	0.5060327	
Residuals	181	0.030422	0.000168			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Yukarıdaki analizlere ilave olarak genel performans değişkeni olan TopStokMly ve OrtSKO bağımlı değişkenlerinin, bağımsız değişken olan faktörlerle olan ilişkisini regresyon analizi ile de inceleyelim. MANOVA'da faktör bazında bakılan genel etkiyi regresyon analizi ile faktör seviyeleri bazında görmeyi hedeflemekteyiz. Bu nedenle MANOVA analizinde $\alpha = 0.05$ seviyesinde anlamlı olan faktör ve etkileşimleri regresyon modeline alınmıştır. Regresyon sonuçları tablo boyutu nedeniyle EK-6'da TopStokMly ve OrtSKO için sırasıyla Tablo Ek.6.1 ve Tablo Ek.6.2'de sunulmuştur. İki değişken için regresyon modeli sonucunda elde edilen istatistik ve R-kare değerleri Tablo 19'da sunulmuştur. İstatistiklere bakıldığında düzeltilmiş R-kare değerlerinin TopStokMly için 0.9692 ve OrtSKO için 0.891 olduğu görülmektedir. Yani oluşturulan model kullanılan

faktörler ile TopStokMly ve OrtSKO arasındaki ilişkiyi anlamlı ve yüksek seviyede açıklayabilmektedir.

Tablo 19. TopStokMly ve OrtSKO için Regresyon İstatistikleri

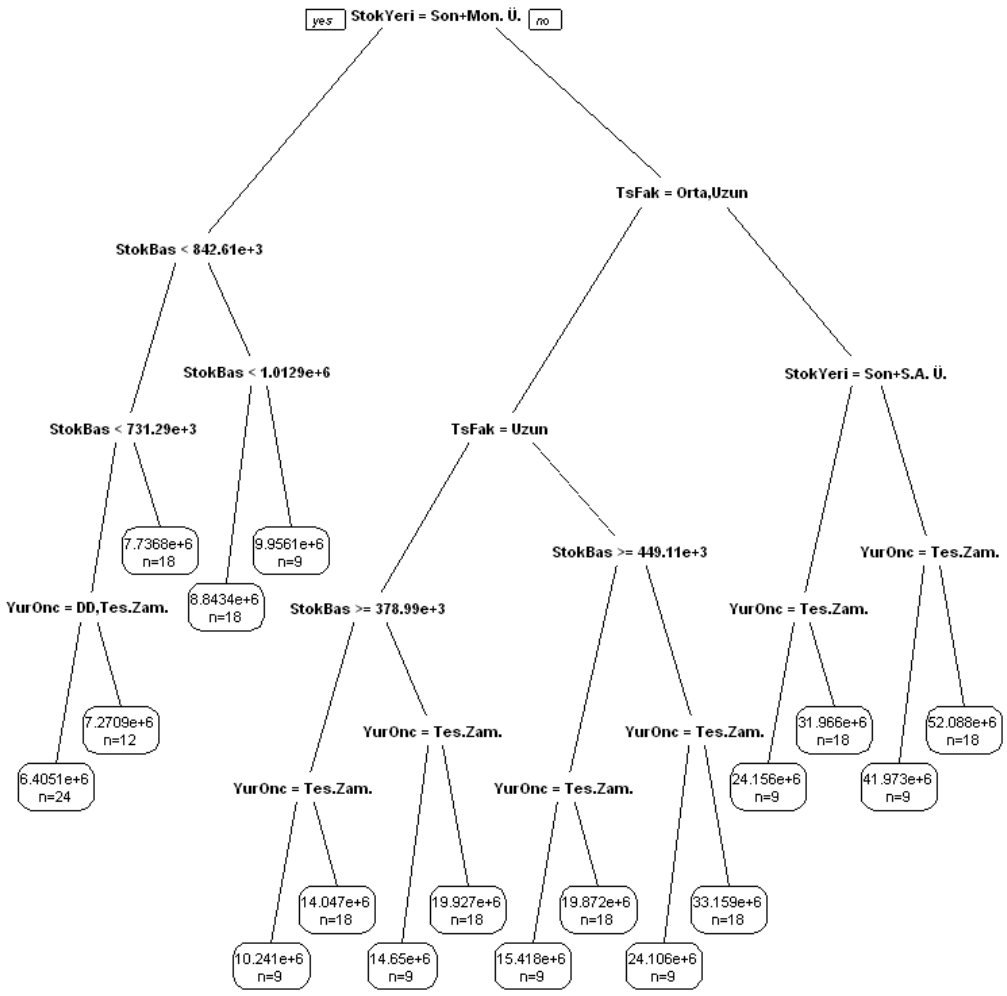
TopStokMly:
Residual standard error: 5718000 on 201 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.9744, Adjusted R-squared: 0.9692 F-statistic: 186.4 on 41 and 201 DF, p-value: < 2.2e-16
OrtSKO:
Residual standard error: 0.01329 on 197 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.9113, Adjusted R-squared: 0.891 F-statistic: 44.97 on 45 and 197 DF, p-value: < 2.2e-16

5.4.2 ABC bazlı performans göstergeleri için regresyon ağaçları

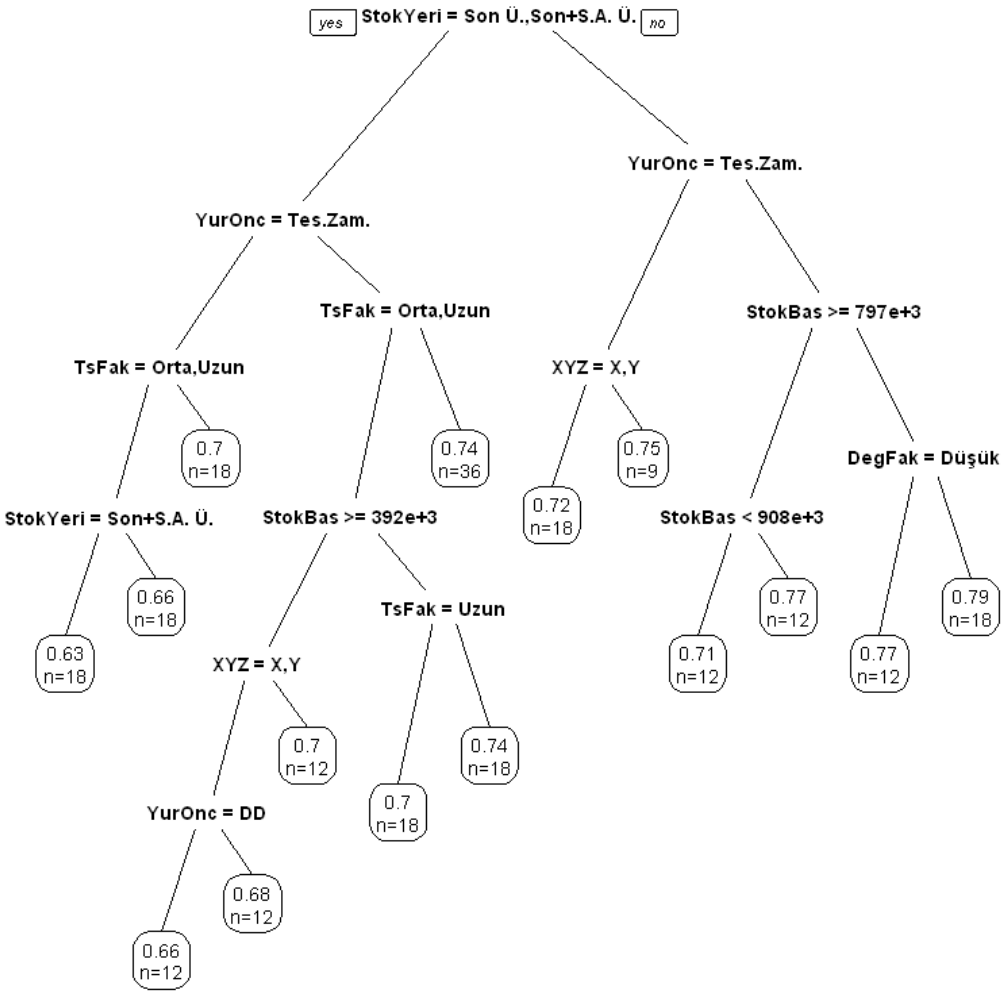
ABC bazlı performans göstergeleri, genel performans göstergelerinden farklı olarak regresyon ağaçları ile analiz edilecektir. Regresyon ağaçları R yazılımında "rpart - Recursive Partitioning and Regression Trees" (Therneau ve Atkinson, 2022) paketi kullanılarak oluşturulmuştur. Regresyon ağacı tekniği temel olarak bağımsız değişkenleri kullanarak bağımlı değişkeni tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin parametrik olmayışı ve görsel olarak birçok bilgiyi sunuyor olması kullanım avantajı sağlamaktadır. Ağaç yapısında her düğüm o düğümdeki tahmini değer ve gözlem sayısını vermektedir. Dallar aşağı doğru gidildiğinde her düğümde ilgili faktörün seviyesine dayanan karar noktası oluşmaktadır. Sol dal evet, sağ dal hayır olarak kodlanmıştır. Dalların en ucuna ulaşıldığında en uygun değer tahmini elde edilmektedir.

Çalışmada, ABC bazlı performans göstergelerinin deney tasarımındaki faktörle ilişkisini anlaşılır bir yapıda ve kullanışlı bir şekilde sunmak için regresyon ağaçları tercih edilmiştir. İlk olarak A sınıfı kalemlere ait TopStokMly_A ve OrtSKO_A performans göstergelerini, oluşturulan ve sırasıyla Şekil 28 ve Şekil 29'da verilen regresyon ağaçları üzerinde inceleyelim.

Şekil 28'de TopStokMly_A için ilk karar noktasının StokYeri faktörü olduğu görülmektedir. StokYeri 2 için soldaki dal, StokYeri 1 ve 2 için sağdaki dal önerilmektedir. Yani stok tutulan noktalar son ürünler ve montaj ürünleri olduğunda sol dal kullanılarak ilerlenirse, diğer StokYeri seviyelerine göre daha az toplam maliyetli uç dallara ulaşılabilecektir. Bu durum A grubu ürünler için beklenen bir durumdu. Çünkü grafik incelemede de bu husus gözlemlenmişti. Burada A sınıfı ürünlerin maliyetli oluşu ve StokYeri 2'nin son ürün boyutuna etki eden en az ATS'yi sağlaması temel neden idi.



Şekil 28. A Kategorisi Ürünlerin Stok Maliyeti için Regresyon Ağacı



Şekil 29. A Kategorisi Ürünlerin Sipariş Karşılama Oranı için Regresyon Ağacı

Şekil 29'da OrtSKO_A göstergesi için en önemli karar gene StokYeri faktörüdür. Bu sefer StokYeri 1 ve 3 için sol dal önerilmekte, StokYeri 2 için sağ dal önerilmektedir. Sol daldan ilerlendiğinde 0.63 - 0.74, sağ daldan ise 0.72 - 0.79 aralığında SKO tahmin edilmektedir. Maliyette olduğu gibi son ürün ve montaj ürünlerde birlikte tutulan stok yapısı en uygun sonuca ulaştırmaktadır.

Burada dikkat çeken husus SKO'nun 0.79'un altında kalmasıdır. Deney tasarımında ele alınan mevcut faktörler dışında SKO'yu artırıcı parametreler olduğu aşikardır. Bunların

başında iş istasyonu kapasitesi artıran veya işlem süresini hızlandıran yaklaşımlar düşünülebilir. Ancak örnek vakanın koşulları ve mevcut faktörler doğrultusunda yapılan regresyon ağacı analizi, ilk olarak son ürün ve montaj ürünlerde tampon tutulmasını gerekli kılmaktadır. Sonrasında başlangıç stok seviyesi olarak modellere dahil edilen StokBas faktörünün büyüklenmesi ve DegFak 1, yani düşük seviyenin tercih edilmesi gerekmektedir.

Çalışmada ele alınan genel ve ABC bazlı performans faktörlerinin tamamı için yukarıda sunulan regresyon ağaçları oluşturulmuştur. Genel göstergeler olarak ele alınan TopStokMly ve OrtSKO regresyon ağaçları EK-6'da ve ABC bazlı B ve C kategorileri regresyon ağaçları EK-7'de sunulmuştur.

5.5 Bulguların Değerlendirilmesi

Genel ve ABC bazlı performans göstergelerine ilişkin olarak regresyon ağaçlarının incelenmesi sonucunda ulaşılan hususlar müteakip maddelerde sunulmuştur.

Genel performans göstergeleri ile ilgili hususlar:

- TopStokMly StokYeri 1 ve 3'te en iyi performansı sağlamaktadır.
- OrtSKO, StokYeri 1'de en iyi performansı verirken StokYeri 3 ve 2 sırasıyla takip eden performansları göstermektedirler.
- TopStokMly için XYZ faktörü, OrtSKO için DegFak karar noktalarında yer almamaktadır. OrtSKO için XYZ faktörünün Z seviyesi diğerlerinden yüksek sonuçlar vermektedir.
- StokYeri 2 olduğunda önceliklendirme faktörü YurOnc 2, yani teslim zamanı bazlı yöntem daha yüksek OrtSKO sunmaktadır. Ulaşılan en yüksek OrtSKO değeri StokYeri 1 ve YurOnc 1, yani son ürünlerde tampon ve DDMRP bazlı yürütme önceliklendirme yaklaşımı sağlamaktadır.
- TsFak TopStokMly için StokYeri 1 ve 3 seviyeleri için bir sonraki karar noktası olarak yer almakta ve TsFak 3, yani uzun seviyesi en iyi performansı vermektedir.

ABC bazlı hususlar (TopStokMly ve OrtSKO ABC kapsamındaki göstergelerdir.) :

- Tüm ABC kategorilerinde StokYeri 2, yani son + montaj ürünlerde tampon tutulduğu durumlarda en az stok maliyetli yapı elde edilmektedir.
- A kategorisinde StokYeri 2 en iyi OrtSKO oluşumuna imkan verirken, B ve C kategorisi ürünler StokYeri 1 ve 3 te en iyi OrtSKO'nı sağlamaktadır.
- Tüm ABC kategorilerinde StokYeri 1 ve 3 için TopStokMly'nin en az değerlerini önceliklendirme yöntemi olan YurOnc faktörünün teslim zamanı esaslı olan seviyesi vermektedir. StokYeri 2 için DDMRP ve ABC bazlı yaklaşım daha iyi ve benzer sonuçları vermektedir.
- OrtSKO için, A kategorisi YurOnc seviyesi DDRMRP veya ABC olduğunda en iyi performansa ulaşmaktadır. B ve C kategorilerinde ABC önceliklendirme DDMRP ve teslim zamanı bazlı yöntemin gerisinde kalmaktadır.
- TopStokMly için StokYeri 2 (en iyiyi veren) dışındaki seçimlerde TsFak faktörü ilk karar noktası olarak karşımıza çıkmaktadır. TsFak'nün orta ve uzun seviyeler kısa seviyeden daha iyi sonuç verirken, nihai noktada TsFak 3, yani uzun seviye StokYeri 2 dışında kalan en iyi performansı sağlamaktadır.
- DegFak ve XYZ faktörleri ABC kategorilerinin hiç birisinde TopStokMly kararlarında yer almamaktadır.
- OrtSKO için DeğFak sadece A kategorisinde yer almakta, B ve C kategorisi kararlarda etkisi görülmemektedir. XYZ faktörü, B hariç A ve C kategorilerinde sadece uç noktadan hemen önce yer almaktadır. Ayrıca ABC kategorilerinin üçü için de Z değişkenlik seviyesi X ve Y seviyelerinden az da olsa yüksek OrtSKO performansı sunmaktadır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzün dinamik ve çok çabuk değişen ve VUCA koşulları olarak adlandırılan iş koşulları başta üretim planlaması olmak üzere talep, malzeme akışı ve stok kontrolü alanlarında etkin ve verimli olmayı zorunlu kılmaktadır. Tedarik zincirleri, rekabet ve maliyet boyutlarıyla bu alanları amaçları doğrultusunda bütüncül stratejilerle yönetebilmelidirler Oluşturulacak alt stratejilerden biri de müşterinin talep ettiği ürünü istenen kalite ve zamanda en maliyet etkin şekilde üretecek ÜPK sistemlerinin, etkin ve doğru kullanımı olacaktır.

Bu doğrultuda ÜPK sistemlerinin etkin kullanım için geliştirilen ve göreceli olarak yeni sayılan DDMRP, mevcut sistemlerin VUCA dünyasında eksik ve zayıf yanlarını gidermeyi hedeflemektedir. DDMRP ortaya koyduğu güçlü hedefle kısa zamanda endüstriyel dünyada karşılık bulmuş, müteakiben akademik alanda da başta performans karşılaştırmaları olmak üzere birçok yönüyle araştırma odağı olmuştur.

Bu çalışmada, akademik alandaki benzerlerini tamamlamak ve geliştirmek için DDMRP özelinde literatürde tespit edilen fayda sağlayıcı ilerleme alanları hedeflenmiştir. Bu maksatla DDMRP tampon boyutlandırma parametreleri (TSF ve DF) ile DDMRP kurulumunda temel olan tampon konumu hedeflenerek literatür incelenmiş ve bu iki hususun ABC bazlı ürün kategorileri açısından ele alınmadığı görülmüştür. Dolayısıyla bu çalışma öncelikle literatürde DDMRP performans ve parametrelerinin ABC kategorilerindeki ürünler için etkileşimi ortaya koymayı hedeflemiştir. Böylece seçici stok kontrol yöntemi ile DDMRP stok konumu ve belirtilen tampon parametrelerinin ilişkisi araştırmamızın temeli olmuştur. Zira en optimum seviyede tasarlanıp başlatılan ÜPK sistemleri, değişken ortamlarda parametrelerin performans etkilerini iyi kullandıkları ölçüde başarılı olabileceklerdir.

Bu kapsamda çalışmada temel olarak ürün ağacı yapısında belirli ürün gruplarında konumlandırılmış DDMRP tamponları için, ABC ve XYZ sınıflandırmaları bazında performans ve parametre ilişkisi araştırılmıştır. Beraberinde elde edilen performans-parametre ilişkileri doğrultusunda maliyet etkin müşteri hizmet düzeyi sunabilmek

hedeflenmiştir. Bu maksatla literatürde çalışılan ve işaret edilen karmaşıklık ve büyüklük özelliklerine uygun, stok için üretim yapan bir ortamını tanımlayan örnek bir vaka geliştirilerek simülasyon deneyleri ile amaçlanan sorulara cevap aranmıştır. Simülasyon deneylerini etkin şekilde icra edebilmek için her biri üç seviyeden oluşan beş faktörün bulunduğu tam faktöryel bir tasarım kullanılmıştır. Ayrıca yedi seviyeli bir ürün ağacı tercih edilmiştir. 48 son ürün, 22 bileşen ve 15 satın alınan ürünün bulunduğu ürün ağacının araştırma amacına uygun büyüklük ve karmaşıklığa sahip olmasına dikkat edilmiştir. Sonuçlar toplam stok maliyeti ve sipariş karşılama oranları olmak üzere iki performans göstergesi üzerinden değerlendirilmiştir.

Çalışmada, incelenmek üzere DDMRP tampon boyutuna etki eden tedarik süresi faktörü (TSF, TsFak) ve değişkenlik (DF, DegFak) faktörü iki tampon parametresi olarak ele alınmıştır. Ayrıca son ürün, son + montaj ürünler ve son + satın alınan ürünler olmak üzere üç farklı tampon konumu (StokYeri faktörü) kullanılmıştır. DDMRP'nin tampon seviyesi kritik durumuna göre ürünleri önceliklendirmede kullandığı yönteme ilave olarak, sırasıyla A, B ve C kategorisi ürünlere öncelik veren ABC bazlı önceliklendirme ile klasik temin zamanı bazlı üç önceliklendirme kuralı yürütmede (YurOnc) denenmiştir. Son olarak talep değişkenliği XYZ literatürüne uygun üç seviyede ele alınarak son ürünler için talep değişkenliği faktörü (XYZ) oluşturulmuştur. Bu hususlar deney tasarımının faktörleri olarak uygun seviyelerde simülasyon koşumları ile denenerek performans göstergeleri elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçların doğru okunabilmesi için regresyon karar ağaçları esas alınmıştır. Çünkü deney tasarımında yer alan faktör ve seviyelerinin etkileşimi göz önüne alındığında faktör bazında temel etkileri ayrıştırmanın güç olacağı kesindir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, öncelikle StokYeri faktörünün performans üzerindeki etkilerinin diğer faktörlerin önünde olduğudur. Genel ve ABC bazlı performans göstergeleri için oluşturulan regresyon karar ağaçları, ilk olarak stok yeri faktörünü öne çıkarmaktadır. Tüm ABC kategorileri için son + montaj ürünlerde oluşturulan (StokYeri 2) tamponlar, en uygun stok maliyeti sağlayan yapıyı sunmaktadır. Benzer şekilde A kategorisi ürünler bu stok yapısında en iyi sipariş karşılama oranı (SKO) sunarken, B ve

C kategorisi ürünler son ürün veya son + satın alınan ürünlerde tampon olması durumunda en optimum SKO'nı vermektedirler.

Bir diğer önemli sonuç genel ve ABC stok maliyeti performans kriteri üzerinde XYZ faktörünün belirgin bir etkisinin olmadığıdır. Benzer şekilde SKO performansında da değişkenliğin en yüksek olduğu Z seviyesi, X ve Y seviyelerine göre daha yüksek sonuçlar vermektedir. Bu husus özellikle DDMRP'de kullanılan ve yüksek oynaklıktaki siparişleri, belirli bir zaman ufku ötesinden (belirli bir eşiğin üstüne çıktılarında) planlamaya alan mantığın esasını oluşturmaktadır. Bu özellik siparişe göre üretim ortamını gerektirdiğinden çalışma kapsamımızın dışında tutulmuştu. Bu konuyu destekleyebilecek tek argüman oynak talebin daha sık sipariş oluşturabileceği ve örnek vakada kullanılan parti büyüklüklerinin etkisiyle son ürünleri destekleyen montaj ürünlerinde fazla stok oluşturabileceğidir. Ancak bu konunun ayrıca detaylı araştırılması gerektiğinden konuyu gelecek hususlar arasına not etmemiz gerekir.

Bu çalışmada doğrudan ele alınan iki DDMRP tampon parametresi tedarik süresi ve değişkenlik faktörleridir. TSF, ya da deney tasarımında yer alan şekliyle TsFak, regresyon ağaçları ile yapılan analizde en iyi stok maliyeti veren stok yeri dışındaki seçimlerde ilk karar noktası olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani, son + montaj ürünleri dışında son ürünler veya son + satın alınan ürünlerde tampon tutulduğunda TsFak öne çıkmaktadır. Faktör seviyesinin TsFak 3, yani "uzun" olduğu seviye, bu tampon yapısı için en iyi performansa elvermektedir. DF (DegFak) için belirgin bir etki görülmemektedir.

DDMRP, bu iki parametreyi tampon boyutlarının diğer parametreleri olan ortalama günlük kullanım (OGK) ve ayrıştırılmış tedarik süresi (ATS) ile katsayı olarak kullanmaktadır. DDMRP tamponlarının üç bölgeli yapısı (kırmızı, sarı ve yeşil) bu katsayılarla ağırlıklandırılarak toplam tampon boyutunu belirlemektedir. Literatürdeki benzer çalışmalar parametre olarak OGK ve ATS'yi çokça işlediklerinden çalışmamızda bu iki parametre doğrudan faktör olarak ele alınmamıştır. Ancak örnek vakada ele alınan ürün ağacı yapısı, çalışmada ele alınan tampon konumlarına göre ATS'yi ciddi miktarda değiştirmektedir. Bu husus TSF ve DF parametrelerinin tampon boyutuna olan etkilerinin büyüklüğünü değiştirmektedir. Yukarıda bahsedilen ve regresyon ağacında TSF'nin öne çıktığı tampon yapılarına bakıldığında ürün ağacının derinlik seviyesi ATS'yi,

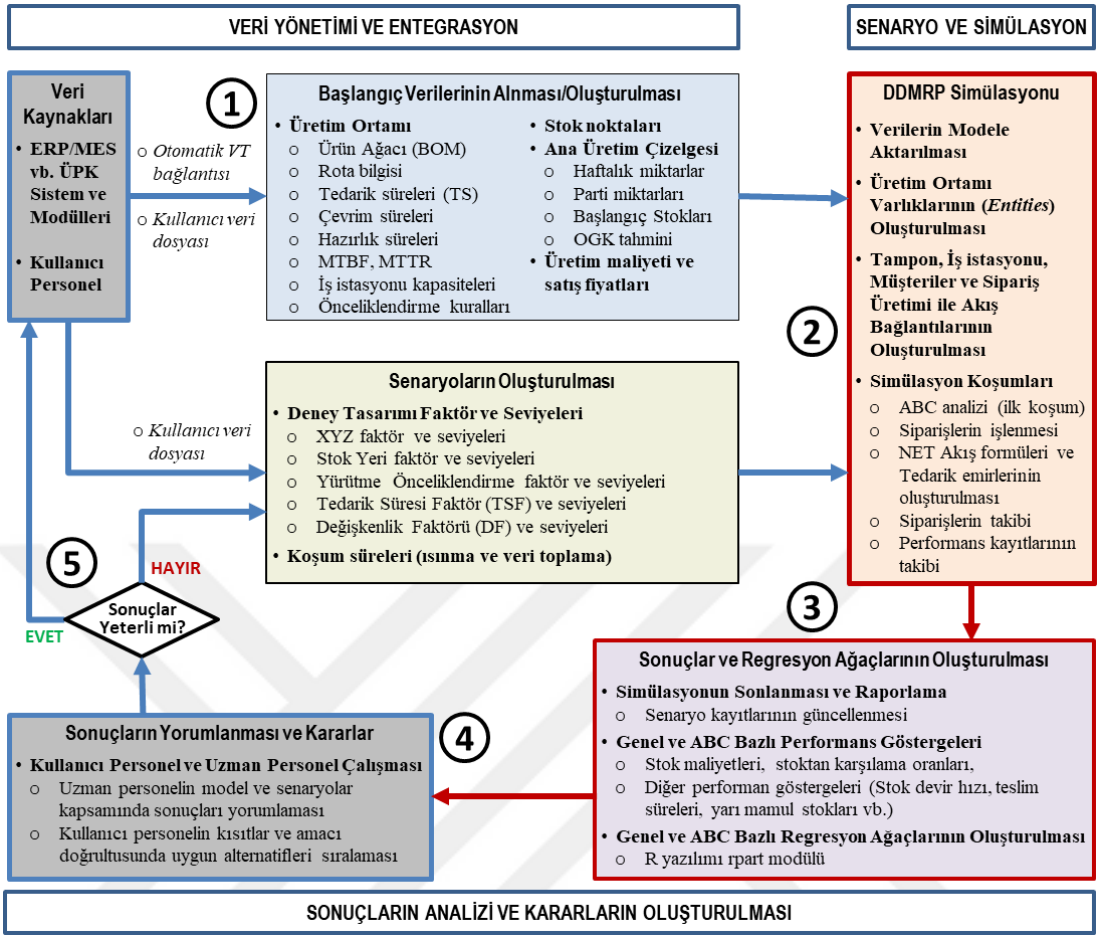
dolayısıyla TSF'nin yapacağı etkinin büyüklüğünü belirlemektedir. Burada hemen DDMRP'nin uzun kategoride ele aldığı uzun ATS'ye sahip ürünlere, kısa ve ortaya kategorilere göre daha küçük TSF katsayıları öngördüğünü belirtelim. Burada amaç, uzun ATS'ye sahip ürünler için daha sık ve küçük boyutlarda tedarik siparişleri üretilmesi sağlayacak tampon boyutunu oluşturmaktır.

Vurgulanması gereken bir diğer sonuç, yürütmede önceliklendirme faktörü (YurOnc) seviyeleri olarak ele alınan ABC bazlı önceliklendirmenin ABC bazlı performans göstergeleri üzerinde beklenenden az etki göstermesidir. Sadece A kategorisi ürünlerde en yüksek SKO veren regresyon ağacı dalı üzerinde DDMRP bazlı önceliklendirmeyle birlikte yer almaktadır. B ve C kategorilerinde ABC bazlı önceliklendirme, DDMRP ve teslim zamanı bazlı yöntemin gerisinde kalmaktadır. B ve C için bu durum, ABC önceliklendirmenin %50 kırmızı tampon seviyesi altında A kategorisi ürün buldukça onu tercih etmesi olabilir. Genel ve A kategorisi performans göstergeleri bakımından bu durum son ürünlerin üretildiği istasyonun kapasitesi nedeniyle de oluşabilir. Bu husus başta A kategorisi ürünler için, regresyon analizinde ulaşılabilen maksimum %79 SKO üzerinde bir seviye elde edilmek istendiğinde göz önünde bulundurulmalıdır. İşlem süresinin hızlandırılması ve/veya kapasite artırımı düşünülmelidir.

Modelin Karar Destek Sistemi İçerisinde Kullanımı:

Çalışmada geliştirilen simülasyon modeli bir karar destek sisteminin model kitaplığına eklenerek de kullanılabilir. Çalışmada elde edilen regresyon ağaçları, değişen koşullarda veya farklı ürün ağacı ve parametrelerden oluşan üretim ortamlarında dinamik olarak oluşturulmak istenebilir. Bu amacın çerçeve yaklaşım olarak hayata geçirilmesine yönelik uygulama akışı Şekil 30'da sunulmuştur. Akışta yer alan adımlar aşağıda açıklanmıştır:

- Adım-1: İlk olarak kullanıcı personel tarafından, firma ERP/MES vb. sistemlerinden başlangıç verilerinin aktarılması gerçekleştirilir. DDMRP simülasyon modeline veriler, veri tabanları (VT) arası uygun sorgular ve kullanıcı tarafından oluşturulan veri dosyası aracılığıyla otomatik veya manuel olarak aktarılabilir. Örnek veri dosyası yapısı EK-8, Tablo Ek.8.1'de verilmiştir.



Şekil 30. Modelin Karar Destek Sistemi İçerisinde Kullanılması (Çerçeve Yaklaşım)

- Adım-2: Bu adım tezde anlatılan simülasyon modelinin işletildiği adımdır.
- Adım-3: Bu adım tezde yer alan performans göstergelerinin rapor olarak alındığı ve analizler kapsamında regresyon ağaçlarının oluşturulduğu süreçleri içermektedir.
- Adım-4: Sonuçların yorumlanması standart kullanıcının yanı sıra uzman personelinde birlikte çalışmasını gerektirir. Esasında uzman personel, ilk üç adımın doğru bir şekilde işletilerek sonuçların alınmasını sağlayacaktır. Kullanıcı tarafının amaç ve kısıtları doğrultusunda regresyon ağaçları kullanılarak amaca uygun parametre gruplarının elde edilmesi bu adımda yapılır.
- Adım-5: Önceki adımda elde edilen parametrelerin denenmesi amacıyla veya amaca uygun sonuçların elde edilmediği durumlarda değişik parametrelerle model yeniden çalıştırılabilir. Kullanıcı sonuçları uygun buluyorsa elde edilen parametreler kullanıcı sistemine uygun veri dosyası ile aktarılır.

Tezde ele alınan problem, karar destek sistemleri içerisinde yapılandırılmamış veya yarım yapılı olarak tasnif edebileceğimiz problem grubuna dahildir. Dolayısıyla karar destek sistemi içerisinde bu problemi model ve veri yapısı özelinde etkileşimli olarak kullanmak üzere eğitim almış kullanıcı veya doğrudan uzman personelden yararlanılması gerekir. Bu durum; yapılandırılmamış, karmaşık ve kapsamlı karar ortamlarında karar alıcıların desteklenebilmesi için gerekli şartlardan biridir.

Deney tasarımından elde edilen sonuçlar doğrultusunda ABC performans göstergelerini, kullanılan faktörlerle tahmin etmeye yarayan regresyon ağaçları üretilmiştir. Bu regresyon ağaçları rehber olarak kullanılabilir, ancak çalışmanın ele alınan örnek vaka tarafından sınırlandırıldığı gerçeği unutulmamalıdır. Bu nedenle siparişe göre üretim dahil farklı üretim ortamı koşullarında benzer çalışmaların artırılması gereklidir. Böylece elde edilecek sonuçlar arttıkça, daha sağlıklı genellemeler yapılabilecektir.

Çalışmada ABC kategorileri performans göstergeleri, yani yanıt değişkenleri olarak ele alınmıştır. Ayrıca ürün ağacında sadece son ürünler ABC tasnifine tutulmuştur. ABC kategorilerini doğrudan faktör olarak ele alan, montaj ve satın alınan ürünleri de kendi içinde ABC benzeri gruplayan çalışmaların yapılması DDMRP yönteminde sınıflandırma etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

XYZ faktörünün etkilerinin ve diğer faktörlerle etkileşiminin anlaşılmasını sağlayacak çalışmalar gereklidir. Bu maksatla talep gören ürünlerin XYZ kategorilerine göre ürünler arasında farklı talepler aldığı çalışmalar ABC-XYZ sınıflandırmaları özelinde yapılabilir.

Benzer şekilde talep değişkenliği XYZ ile ABC gruplamaları bazında ayrıştırılmış ürün grupları, iş istasyonlarında farklı yükleme ve ilave kapasite faktörleri altında ele alınabilir. Bu şekilde uygulanacak deneyler ile XYZ talep değişkenliğinin getirdiği yük artışının ABC grupları bazında anlaşılması ve yönetilmesi sağlanabilir.

Son olarak ürün ağacı yapısında çok sayıda varyant son ürün ve ortak bileşen içeren üretim ortamlarında bileşenlerin DDMRP bakışıyla yönetilmesi için çalışmalar yapılabilir. Ortak bileşen sayıları ve kullanım miktarlarını esas alan gruplamalar ABC kategorilerine ayrıştırılmış ürün aileleri ile ele alınarak özellikle S&OP planlamalarında kullanılabilecek parametreler araştırılabilir.

Bu çalışma ile daha önce DDMRP özelinde ele alınmamış ABC kategorileri bazında tampon konumları ile TSF ve DF parametrelerinin etkileri stok için üretim yapan örnek bir vaka kullanılarak simülasyon ortamında incelenmiştir. Modelin, gerektiğinde karar destek sistemi içerisine eklenerek kullanılabileceği çerçeve bir yaklaşım önerilmiştir. Deney tasarımı sonuçları ile regresyon ağacı modelleri oluşturularak ABC parametreleri bazında performans tahmini yapılması sağlanmıştır. Çalışma ile DDMRP işleyişinin literatürde araştırılmamış bir boyutuna dikkat çekilmiş ve ABC bazlı performans öngörüsü için regresyon ağaçlarına dayalı bir rehber sunulmuştur.

KAYNAKLAR

Abdelhalim, A., Hamid, A. ve Tiente, H. (2021). Demand Driven Material Requirements Planning Buffer Positioning Considering Carbon Emissions. *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems. APMS 2021*. *IFIP Advances in Information and Communication Technology, 632*, s. 460-468. doi:10.1007/978-3-030-85906-0_51

Acar, A. Z. ve Köseoğlu, A. M. (2014). *Lojistik Yaklaşımıyla Tedarik Zinciri Yönetimi.* Ankara: Nobel.

Achergui, A., Allaoui, H. ve Hsu, T. (2020). Strategic DDMRP's Buffer Positioning for hybrid MTO/MTS manufacturing. 2020 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions, ICTMOD 2020. https://doi.org/10.1109/ICTMOD49425.2020.9380588.

Achergui, A., Allaoui, H. ve Hsu, T. (2021). Optimisation of the automated buffer positioning model under DDMRP logic. *IFAC-PapersOnLine, 54 (1)*, s. 582-588. doi:10.1016/j.ifacol.2021.08.067

Achergui, A., Allaoui, H. ve Hsu, T. (2022). Demand Driven MRP with supplier selection. *IFAC-PapersOnLine, 55 (10)*, s. 257-262. doi:10.1016/J.IFACOL.2022.09.398

Aguilar, J., Dos Santos Guillén, R., García, R., Gómez, C., Jerez, M., Narváez, M. ve Puerto, E. (2023). A smart DDMRP model using machine learning techniques. *International Journal of Value Chain Management, 14*(2), 107-142. doi:10.1504/IJVCM.2023.130973

Aktepe, A., Ersoz, S., Turker, A. K., Barisci, N. ve Dalgic, A. (2018). An inventory classification approach combining expert systems, clustering, and fuzzy logic

with the ABC method, and an application. *South African Journal of Industrial Engineering*, 9-62.

Aktunc, E. A., Basaran, M., Ari, G., Irican, M. ve Gungor, S. (2019). Inventory Control Through ABC/XYZ Analysis. E. A. Aktunc, M. Basaran, G. Ari, M. Irican, S. Gungor, F. Calisir, H. Camgoz Akdag ve E. Cevikcan (Ed) *Industrial Engineering in the Big Data Era* içinde (s. 178-187). Cham: Springer Nature Switzerland.

Akturk, M. S. ve Erhun, F. (1999). An overview of design and operational issues of kanban systems. *International Journal of Production Research, 37*(17), 3859-3881. doi:10.1080/002075499189808

Altiok, T. ve Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with Arena.* Amsterdam:Elsevier Academic Press.

ASCM. (2022). *What is the SCOR model?* 14 Kasım 2022'de Association for Supply Chain Management: https://www.ascm.org/corporate-transformation/standards-tools/scor-ds/#what-is-scor adresinden alındı

Axsäter, S. (2015). *Inventory Control.* Cham:Springer. doi:10.1007/978-3-319-15729-0

Azzamouri, A., Baptiste, P., Dessevre, G. ve Pellerin, R. (2021). Demand driven material requirements planning (Ddmrp): A systematic review and classification. Journal of Industrial Engineering and Management, 14(3), 439–456. https://doi.org/10.3926/jiem.3331.

Azzamouri, A., Baptiste, P., Pellerin, R. ve Dessevre, G. (2022). Impact of the continuous and periodic assessment of a buffer replenishment on the DDMRP method. *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207543.2022.2109219

Bahu, B., Bironneau, L. ve Hovelaque, V. (2019). Compréhension du DDMRP et de son adoption : premiers éléments empiriques. *Logistics & Management, 27*(1), 20-32. doi:10.1080/12507970.2018.1547130

Balcıoğlu, A. ve Tanyaş, M. (2019). Talep Odakli Malzeme İhtiyaçları Planlaması Metodolojisi Hakkında Literatür İncelemesi. *8. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi: Bildiriler Kitabı*, (s. 114-127). Niğde.

Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L. ve Nicol, D. M. (2014). *Discrete-Event System Simulation, (5th Ed).* Essex: Pearson Education Limited.

Baptiste, P. (2018). DDMRP: Scheduling opportunities in case of complex BOMs. *ILS 2018 - Information Systems, Logistics and Supply Chain, Proceedings*, (s. 317-325).

Bayard, S., Grimaud, F. ve Delorme, X. (2021). Study of buffer placement impacts on demand driven MRP performance. *IFAC-PapersOnLine, 54*(1), 1005-1010.

Belvedere, V. (2021). Shop Floor Planning and Control. A. Grando, V. Belvedere, R. Secchi ve G. Stabilini, *Productions, Operations and Supply Chain Management* içinde (s. 299-318). Milan: Bocconi University Press.

Benavente, D., Peralta, S., Quispe, G., Moguerza, J. ve Raymundo, C. (2023). The Demand Driven MRP Implementation in Complex Manufacturing Industries: A Systematic Literature Reviews. *International Journal of Engineering Trends and Technology, 71*(3), 33-45. doi:10.14445/22315381/IJETT-V71I3P205

Bennett, N. ve Lemoine, G. J. (2014). What a difference a word makes: Understanding threats to performance in a VUCA world. *Business Horizons, 57*(3), 311–317. doi:https://doi.org/10.1016/j.bushor.2014.01.001

Benton, W. (2013). *Supply chain focused manufacturing planning and control.* Stamford, Conn: Cengage Learning.

Bertolotti, E. (2022). Variables clustering method to enable planning of large supply chains. M. Toloo, S. Talatahari ve I. Rahimi (Dü) içinde, *Multi-Objective Combinatorial Optimization Problems and Solution Methods* (s. 365-387). doi:10.1016/B978-0-12-823799-1.00003-6

Bertrand, J. W. ve Fransoo, J. C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations and Production Management, 22*(2), 241-264. doi:10.1108/01443570210414338

Blackstone, J. H. (2010). A Review of Literature on Drum-Buffer-Rope, Buffer Management and Distribution. J. F. Cox ve J. G. Schleier, *Theory of Constraints Handbook.* içinde (s. 145-174). New York: McGraw-Hill.

Butturi, M. A., De Rosa, G., Balugani, E. ve Gamberini, R. (2021). Understanding the Demand Driven Material Requirements Planning Scope of Application: a Critical Literature Review. B. Katalinic (Ed), *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium* içinde (s. 0462-0471). Vienna, Austria: DAAAM International. doi:10.2507/32nd.daaam.proceedings.067

Caspari, J. A. ve Caspari, P. (2004). *Management Dynamics: merging constraints accounting to drive improvement.* Hoboken, N.J: John Wiley & Sons Inc.

Chapman, S. N. (2006). *The fundamentals of production planning and control*. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.

Chapman, S. N., Arnold, J. R., Gatewood, A. K. ve Clive, L. M. (2017). *Introduction to Materials Management, 8th edition.* Boston: Pearson.

Chopra, S. ve Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation.* Boston: Pearson.

Cid Yáñez, F., Frayret, J. M., Léger, F. ve Rousseau, A. (2009). Agent-based simulation and analysis of demand-driven production strategies in the timber industry. *International Journal of Production Research, 47*(22), 6295-6319. doi:10.1080/00207540802158283

Corsini, R. R., Costa, A., Cannella, S. ve Framinan, J. M. (2022). Analysing the impact of production control policies on the dynamics of a two-product supply chain with capacity constraints. *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207543.2022.2053224

Cox, D. R. ve Reid, N. (2000). *The theory of the design of experiments.* Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.

Cox, J. F. ve Schleier, J. G. (Ed). (2010). *Theory of Constraints Handbook.* New York: McGraw-Hill.

CSCMP. (2018). *Supply Chain Management Definitions and Glossary.* 29 Mayıs 2018'de Council of Supply Chain Management Professionals: http://cscmp.org/ adresinden alındı

Cuartas, C. ve Aguilar, J. (2022). Hybrid algorithm based on reinforcement learning for smart inventory management. *Journal of Intelligent Manufacturing, 34*(1), 123-149. doi:10.1007/s10845-022-01982-5

Damand, D., Lahrichi, Y. ve Barth, M. (2022). A simulation-optimization approach to parameterize Demand-Driven Material Requirements Planning. *IFAC-PapersOnLine, 55(10)*, s. 263-268. doi:10.1016/J.IFACOL.2022.09.626

Damand, D., Lahrichi, Y. ve Barth, M. (2022). Parameterisation of demand-driven material requirements planning: a multi-objective genetic algorithm https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2098074. *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207543.2022.2098074

DDI. (2023). *Case Studies*, 10 Mart 2023'te Demand Driven Institute: https://www.demanddriveninstitute.com/case-studies adresinden indirildi

Dessevre, G., Baptiste, P., Lamothe, J. ve Pellerin, R. (2021). Visual charts produced by simulation to correlate service rate, resource utilization and DDMRP parameters. *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207543.2021.2015808

Dessevre, G., Lamothe, J., Pellerin, R., Ali, M. B., Baptiste, P. ve Pomponne, V. (2023). Comparison of pull management policies for a divergent process with DDMRP buffers: an industrial case study. *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207543.2022.2162997

Dessevre, G., Lamothe, J., Pomponne, V., Baptiste, P., Lauras, M. ve Pellerin, R. (2020). A DDMRP implementation user feedbacks and stakes analysis. *Proceedings of the 8th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, ILS 2020.*

Dessevre, G., Martin, G., Baptiste, P., Lamothe, J., Pellerin, R. ve Lauras, M. (2019). Decoupled Lead Time in finite capacity flowshop: a feedback loop approach. *Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM 2019.* doi:10.1109/IESM45758.2019.8948198

El Marzougui, M., Messaoudi, N., Dachry, W. ve Bensassi, B. (2023). Industry 4.0 Technologies on Demand Driven Material Requirement Planning: Theoretical Background and Impacts., *714 LNNS*, s. 59-69. doi:10.1007/978-3-031-35245-4_6

El Marzougui, M., Messaoudi, N., Dachry, W., Sarir, H. ve Bensassi, B. (2020). Demand Driven Mrp: Literature Review and Research Issues. *13th International Conference on Modeling, Optimization and Simulation - MOSIM 2020*, (s. 364-373). Agadir, Morocco. 15 Mayıs 2022'de https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03193163 adresinden alındı

Eruguz, A. S., Sahin, E., Jemai, Z. ve Dallery, Y. (2016). A comprehensive survey of guaranteed-service models for multi-echelon inventory optimization. International Journal of Production Economics, 172, 110–125. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.11.017.

Favaretto, D., Marin, A. ve Tolotti, M. (2023). A theoretical validation of the DDMRP reorder policy. *Computational Management Science, 20*(1). doi:10.1007/s10287-023-00443-5

Fisher, M. L. (1997). What Is the Right Supply Chain for Your Product? *Harvard Business Review*, *75*(2), 105-116.

Fleischmann, B., Meyr, H. ve Wagner, M. (2016). Advanced Planning. H. Stadtler, C. Kilger ve H. Meyr (Dü) içinde, *Supply Chain Management and Advanced*

Planning : Concepts, Models, Software and Case Studies (5th ed.) (s. 71-95). Springer. doi:10.1007/978-3-642-55309-7

Flores, B. E. ve Whybark, D. C. (1986). Multiple Criteria ABC Analysis. *International Journal of Operations & Production Management, 6*(3), 38-46.

Franco-Quispe, D., Yauri-Tito, D., Cabel-Pozo, J. ve Raymundo, C. (2022). Production Planning and Control Model to Increase On-Time Deliveries Through Demand-Driven MRP and PDCA in a Make-to-Order Environment of Non-primary Manufacturing Industry. *Lecture Notes in Networks and Systems, 319*, 1209-1217. doi:10.1007/978-3-030-85540-6_155

Goldratt, E. M. (1988). Computerized shop floor scheduling. *International Journal of Production Research, 26*(3), 443-455.

Goldratt, E. M. (2009). Standing on the shoulders of giants: production concepts versus production applications. The Hitachi Tool Engineering example. *Gestão & Produção, 16*(3), 333-343.

Goldratt, E. M. ve Cox, J. (1984). *The Goal: a process of ongoing improvement.* Great Barrington, MA: North River Press.

Goldratt, E. M. ve Cox, J. (2004). *The Goal: a process of ongoing improvement (3rd Revised Ed.).* Great Barrington, MA: North River Press.

Goldratt, E. M., Eshkoli, I. ve Brownleer, J. (2009). *Isn't It Obvious.* Great Barrington, MA: North River Pres.

Gonzales-Romero, A., Huamani-Martinez, I. J., Quiroz-Flores, J. C. ve Diaz-Garay, B. H. (2022). Production Management Model Based on Lean and DDMRP Tools to Increase the Rate of Project Compliance in Manufacturing SMEs in the Metalworking Sector. *Proceedings - 2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2022*, (s. 38-45). doi:10.1109/IESTEC54539.2022.00015

González-R, P. L., Framinan, J. M. ve Pierreval, H. (2012). Token-based pull production control systems: An introductory overview. *Journal of Intelligent Manufacturing, 23*(1), 5-22.

Grando, A. (2021a). Production Planning and Control System. A. Grando, V. Belvedere, R. Secchi ve G. Stabilini, *Productions, Operations and Supply Chain Management* içinde (s. 109-128). Milan: Bocconi University Press.

Grando, A. (2021b). Production Planning and Control: The Master Production Schedule. A. Grando, V. Belvedere, R. Secchi ve G. Stabilini, *Productions, Operations and Supply Chain Management* içinde (s. 233-249). Milan: Bocconi University Press.

Grando, A. (2021c). Stock Control Methods for Dependent Demand Goods and the Choice of the Appropriate Method. A. Grando, V. Belvedere, R. Secchi ve G. Stabilini, *Productions, Operations and Supply Chain Management* içinde (s. 273-298). Milan: Bocconi University Press.

Gupta, M. ve Snyder, D. (2009). Comparing TOC with MRP and JIT: A literature review. *International Journal of Production Research, 47*(13), 3705–3739.

Heizer, J., Render, B. ve Munson, C. (2017). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management.* Amsterdam: Pearson.

Hellström, D. ve Johnsson, M. (2002). Using discrete event simulation in supply chain planning. Paper presented at 14th Annual NOFOMA Conference, 2002, Trondheim, Norway.

Hilletofth, P. (2011). Demand-supply chain management: industrial survival recipe for new decade. *Industrial Management & Data Systems, 111*(2), 184-211.

Hopp, W. J. ve Spearman, M. C. (2008). *Factory Physics (3rd Ed).* Long Grove, Illinois: Waveland Press, Inc.

Hubl, A. ve Fischer, G. (2017). Simulation-based business game for teaching methods in logistics and production. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, (s. 4228-4239). doi:10.1109/WSC.2017.8248129

Ihme, M. (2015). *Interpreting and applying demand driven MRP: a case study* [Doctoral Thesis / Nottingham Trent University]. 30 Ağustos, 2018'de http://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/27704 adresinden indirildi

Ihme, M. ve Stratton, R. (2015). Evaluating Demand Driven MRP: a case based simulated study. *International Conference of the European Operations Management Association*, (s. 1-10). Neuchatel, Switzerland.

Iki, H. M. ve Ishak, D. (2021). Development of Forecasting Model with Simple Smoothing and Inventory Model with DDMRP in Veterinary Medicine Industry. *ACM International Conference Proceeding Series*, (s. 603-610). doi:10.1145/3468013.3468664

Ivanov, D., Tsipoulanidis, A. ve Schönberger, J. (2019). *Global Supply Chain and Operations Management: A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value* (2nd Edition). Cham: Springer.

JaamSim, D. T. (2022). JaamSim: Discrete-Event Simulation Software. Version 2022-04. *URL http://jaamsim.com.* doi:10.5281/zenodo.57118

Jacobs, F. R. ve Chase, R. B. (2018). *Operations and Supply Chain Management (15th Edition).* New York: McGraw-Hill Education.

Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C. ve Vollmann, T. E. (2011). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management.* New York: McGraw-Hill Professional.

Jiang, J. ve Rim, S. C. (2016). Strategic Inventory Positioning in BOM with Multiple Parents Using ASR Lead Time. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-9. 20 Mayıs 2018'de https://doi.org/10.1155/2016/9328371 adresinden alındı

Jiang, J. ve Rim, S.-C. (2017). Strategic WIP Inventory Positioning for Make-to-Order Production with Stochastic Processing Times. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-7. 20 Mayıs 2018'de https://doi.org/10.1155/2017/8635979 adresinden alındı

Jodlbauer, H. ve Huber, A. (2008). Service-level performance of MRP, kanban, CONWIP and DBR due to parameter stability and environmental robustness. , *International Journal of Production Research, 46*(8), 2179-2195.

Jonker, J. ve Pennink, B. (2010). *The Essence of Research Methodology*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-540-71659-4_4

Kaabi, H., Jabeur, K. ve Ladhari, T. (2018). A genetic algorithm-based classification approach for multicriteria ABC analysis. *nternational Journal of Information Technology and Decision Making, 17*(6), 1805-1837.

Kang, K., Doerr, K. H. ve Sanchez, S. M. (2006). A design of experiments approach to readiness risk analysis. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, (s. 1332-1339). doi:10.1109/WSC.2006.323232

Karmarkar, U. S. (1986). *Integrating MRP with Kanban/Pull Systems.* Graduate School of Management, University of Rochester. 10 Mayıs 2023'te tarihinde http://hdl.handle.net/1802/4763 adresinden alındı

Karmarkar, U. S. (1989). Getting control of just-in-time. *Harvard Business Review, 67*(5), 122-131.

Kassen, S., Tammen, H., Zarte, M. ve Pechmann, A. (2021). Concept and case study for a generic simulation as a digital shadow to be used for production optimisation. *Processes, 9*(8). doi:10.3390/pr9081362

Katsios, D., Xanthopoulos, A. S., Koulouriotis, D. E. ve Kiatipis, A. (2018). A Simulation Optimisation Tool And Its Production/Inventory Control Application. *International Journal of Simulation Modelling, 17*(2), 257–270.

Kobu, B. (2014). *Üretim Yönetimi (17. Baskı).* İstanbul: Beta.

Kortabarria, A. (2018). *Analysis of the performance of Demand Driven Material Requirements Planning on supply chain management: A multiple case study* [Doctoral Thesis / Mondragon Unibertsitatea]. 10 Aralık 2022'de

http://ebiltegia.mondragon.edu/xmlui/handle/20.500.11984/1928?show=full adresinden alındı

Kortabarria, A., Apaolaza, U., Lizarralde, A. ve Amorrortu, I. (2018). Material management without forecasting: From MRP to demand driven MRP. *Journal of Industrial Engineering and Management, 11*(4), 632-650.

Kourentzes, N. (2016, 10 25). *ABC-XYZ analysis for forecasting*. 3 Ocak 2020'de https://kourentzes.com/forecasting/2016/10/15/abc-xyz-analysis-for-forecasting/ adresinden alındı

Krajewski, L. J., Malhotra, M. K. ve Ritzman., L. P. (2016). *Operations Management: Processes and Supply Chains.* Boston: Pearson.

Kurbel, K. E. (2013). *Enterprise resource planning and supply chain management : functions business processes and software for manufacturing companies.* Heidelberg: Springer.

Lahrichi, Y., Damand, D. ve Barth, M. (2022). A first MILP model for the parameterization of Demand-Driven MRP. *Computers & Industrial Engineering, 174*. doi:10.1016/j.cie.2022.108769

Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis* (5th Edition). Dubuque: McGraw-Hill Education.

Lee, C. J. ve Rim, S. C. (2019). A Mathematical Safety Stock Model for DDMRP Inventory Replenishment. *Mathematical Problems in Engineering*, doi:10.1155/2019/6496309

Lee, H. (2004). The triple-A supply chain. *Harvard Business Review*, 2-11.

Mantilla, R., Arivilca, L., Aparicio, V. ve Nunura, C. (2021). Inventory management optimization model based on 5S and DDMRP methodologies in commercial SMEs . *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology.*

Martin, G. (2020). Contrôle dynamique du Demand Driven Sales and Operations Planning. [Doktoral Thesis / Ecole des Mines d'Albi-Carmaux]. 4 Aralık 2022'de https://theses.hal.science/tel-03165839/ adresinden alındı

Martin, G., Baptiste, P., Lamothe, J., Miclo, R. ve Lauras, M. (2018). A process map for the demand driven adaptive enterprise model: Towards an explicit cartography . *ILS 2018 - Information Systems, Logistics and Supply Chain, Proceedings* , (s. 664-672).

Martin, G., Lauras, M. ve Baptiste, P. (2023). Dynamical multi-parameter sizing of DDMRP buffers in finite capacityflow-shops. *Computers & Industrial Engineering, 175*, 108858. doi:10.1016/j.cie.2022.108858

Martin, G., Lauras, M., Baptiste, P., Lamothe, J., Fouqu, A. ve Miclo, R. (2019). Process control and decision-making for Demand Driven Sales and Operations Planning. *Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM 2019.* doi:10.1109/IESM45758.2019.8948077

Mauergauz, Y. (2016). *Advanced planning and scheduling in manufacturing and supply chains.* Cham: Springer International Publishing.

McLean, C. ve Shao, G. (2003). Generic case studies for manufacturing simulation applications. *Winter Simulation Conference Proceedings*, *2*, s. 1217-1224.

Mendes, P. (2011). *Demand Driven Supply Chain: A Structured and Practical Roadmap to Increase Profitability*. Heidelberg: Springer.

Miclo, R. (2016). Challenging the'Demand Driven MRP'Promises': A Discrete Event Simulation Approach. (NNT : 2016EMAC0016), [Doctoral Thesis / Ecole Des Mines D'Albi-Carmaux, English.]. 18 Ağustos 2018'de https://tel archives-ouvertes fr/tel-01673811/document adresinden alındı

Miclo, R., Fontanili, F., Lauras, M., Lamothe, J. ve Milian, B. (2015). MRP vs. demand-driven MRP: Towards an objective comparison. *2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, (s. 1072-1080).

Miclo, R., Fontanili, F., Lauras, M., Lamothe, J. ve Milian, B. (2016). An empirical comparison of MRPII and Demand-Driven MRP. *IFAC-PapersOnLine, 46*(12), 1725–1730. doi:https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.831

Miclo, R., Lauras, M., Fontanili, F., Lamothe, J. ve Melnyk, S. A. (2019). Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management. *International Journal of Production Research, 51*(1), 166-181. doi:10.1080/00207543.2018.1464230

Mohammad, F. H., Benali, M. ve Baptiste, P. (2022). An Optimization Model for Demand-Driven Distribution Resource Planning DDDRP. *Journal of Industrial Engineering and Management, 15*(2), 338-349. doi:10.3926/JIEM.3825

Montgomery, C. D. (2017). *Design and analysis of experiments (9th ed.).* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Mukhopadhyay, S. K. (2015). *Production planning and control : text and cases* (3rd Edition). Delhi: PHI Learning Private Limited.

Nahmias, S. ve Olsen, T. (2015). *Production and Operations Analysis: Strategy, Quality, Analytics, Application.* Illinois: Waveland Press.

Ng, W. L. (2007). A simple classifier for multiple criteria ABC analysis. *European Journal of Operational Research, 177*(1), 344-353.

Nyhuis, P. ve Wiendahl, H.-P. (2009). *Fundamentals of Production Logistics theory tools and applications.* Berlin: Springer .

Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics, 85*(3), 319-329.

Olhager, J. (2010). The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. *Computers in Industry, 91*(9), 863-868.

Olhager, J. (2012). The Role of Decoupling Points in Value Chain Management. H. Jodlbauer, J. Olhager ve R. J. Schonberger (Dü.), *Modelling Value, Contributions*

to Management Science içinde (s. 37-47). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-7908-2747-7_2

Orlicky, J. (1975). *Material Requirements Planning - The New Way of Life in Production and Inventory Management.* New York: McGraw-Hill.

Orue, A., Lizarralde, A. ve Kortabarria, A. (2020). *Demand driven MRP – the need to standardise an implementation process. International Journal of Production Management and Engineering, 8(2), 65–73.* doi:10.4995/ijpme.2020.12737.

Pandya, B. ve H. T. (2016). A Review on Inventory Management Control Techniques : ABC-XYZ Analysis. *REST Journal on Emerging Trends in Modelling and Manufacturing, 2*(3), 82-86.

Paredes, A., Ciro, K. ve Jaramillo, J. (2022). Simulación de una política de inventario basada en la metodología Demand Driven MRP desde un enfoque de redes de Petri. *Ingeniería, 27*(1). doi:10.14483/23448393.18002

Pareto, V. (1971). *(English Translation) Manual of Political Economy.* New York: AM Kelly.

Pekarcikova, M., Trebuna, P., Kliment, M. ve Trojan, J. (2019). Demand driven material requirements planning. some methodical and practical comments. *Management and Production Engineering Review, 10*(2), 50-59.

Pittman, P. H. ve Atwater, J. B. (2022). "Stok Yönetimi", "Üretim Yönetimi", "Ayrıştırma Noktası", "Kontrol Noktaları", "JIT" *ASCM Supply Chain Dictionary (17th Ed.).* Association of Supply Chain Management: 14 Kasım 2022'de https://ascm.force.com/community/s/?vtui__catalogId=a2b3l000001nk69AAA&vtui__mediaId=a2i6O0000088N8bQAE adresinden alındı

Plenert, G. J. (1999). Focusing material requirements planning (MRP) towards performance. *European Journal of Operational Research, 119*(1), 91-99.

Plossl, G. (1994). *Orlicky's Material Requirements Planning.* New York: McGraw-Hill.

Ptak, C. A. ve Smith, C. (2011). *Orlicky's Material Requirements Planning, (3rd Ed.).* New York: McGraw-Hill.

Ptak, C. ve Smith, C. (2008). Beyond MRP: Meeting the Current Materials Synchronization Challenge. *APICS Magazine , (July/August).*

Ptak, C. ve Smith, C. (2016). *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP).* Connecticut: Industrial Press.

R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. 01 Ocak 2021'de https://www.R-project.org/ adresinden alındı

Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers and Operations Research, 33*(3), 695-700. doi:10.1016/j.cor.2004.07.014

Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers and Operations Research, 33*(3), 695-700.

Reiner, G. (2005). Supply Chain Management Research Methodology Using Quantitative Models Based on Empirical Data. H. Kotzab, S. Seuring, M. Müller ve G. Reiner, *Research methodologies in supply chain management in collaboration with magnus westhaus* içinde (s. 431-444). Heidelberg: Physica-Verlag.

Rim, S.-C., Jiang, J. J. ve Lee, C. J. (2014). Strategic inventory positioning for MTO manufacturing using ASR lead time. P. Golinska (Ed), *EcoProduction. Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability* içinde (s. 441-456). Basel, Switzerland: Springer.

Russell, R. S. ve Taylor, a. B. (2011). *Operations Management: Creating Value Along the Supply Chain.* Hoboken. NJ: Wiley.

Sahai, G. ve Seth, A. (2021). Supply Chain Transformation- through DDMRP approach. *Pacific Business Review International, 13*(12), 69-76.

Sanchez, S. M. (2015). Simulation experiments: Better data, not just big data. *2015 Winter Simulation Conference (WSC)* (s. 800-811). Huntington Beach, CA, USA: IEEE. doi:10.1109/WSC.2015.7408217

Sanchez, S. M., Sanchez, P. J. ve Wan, H. (2021). Work Smarter, Not Harder: A Tutorial On Designing and Conducting Simulation Experiments. *2021 Winter Simulation Conference (WSC)* (s. 1-15). Phoenix, AZ, USA: IEEE. doi:10.1109/WSC52266.2021.9715422.

Santos, J. B. ve D'Antone, S. (2014). Reinventing the wheel? A critical view of demand-chain management. *Industrial Marketing Management,, 43*(6), 1012-1025.

Scholz-Reiter, B., Heger, J., Meinecke, C. ve Bergmann, J. (2012). Integration of demand forecasts in ABC-XYZ analysis: Practical investigation at an industrial company. *International Journal of Productivity and Performance Management, 61*(4), 445-451. doi:10.1108/17410401211212689 adresinden alındı

Schönsleben, P. (2016). *Integral logistics management: Operations and supply chain management within and across companies.* Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. .

Schragenheim, E. (2010). From DBR to Simplified-DBR for Make-to-Order. J. F. Cox ve J. G. Schleier, *Theory of Constraints Handbook* içinde (s. 211-238). New York: McGraw-Hill.

Schragenheim, E. ve Dettmer, H. W. (2001). *Manufacturing at Warp Speed - Optimizing Supply Chain Financial Performance.* Boca Raton: St. Lucie Press.

Schragenheim, E., Dettmer, H. W. ve Patterson, J. W. (2009). *Supply Chain Management at Warp Speed - Integrating the System from End to End.* Boca Raton: Auerbach Publications.

Shafer, S. M. ve Smunt, T. L. (2004). Empirical simulation studies in operations management: context, trends, and research opportunities. *Journal of Operations Management, 22*, 345-354.

Shenoy, D. ve Rosas, R. (2018). *Problems & Solutions in Inventory Management.* Cham: Springer.

Shofa, M. J. ve Widyarto, W. O. (2017). Effective production control in an automotive industry: MRP vs. demand-driven MRP. *AIP Conference Proceedings. 1855,* s. 020004. AIP Publishing LLC.

Shofa, M. J., Moeis, A. O. ve Restiana, N. (2018). Effective production planning for purchased part under long lead time and uncertain demand: MRP Vs demand-driven MRP. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 337,* s. 012055.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. ve Simchi-Levi., E. (2004). *Managing the Supply Chain.* New York: McGraw-Hill.

Srikanth, M. (2010). DBR, Buffer Management, and VATI Flow Classification. J. F. Cox ve J. G. Schleier, *Theory of Constraints Handbook* içinde (s. 175-210). New York: McGraw-Hill.

Stadtler, H. (2016). Purchasing and Material Requirements Planning. H. Stadtler, C. Kilger ve H. Meyr (Ed) içinde, *Supply Chain Management and Advanced Planning : Concepts, Models, Software and Case Studies (5th ed.)* içinde (s. 213-224). Berlin: Springer.

Steenhuis, H. J. ve de Bruijn, E. J. (2006). Empirical research in OM: three paradigms. *OM in the New World Uncertainties. Proceedings (CD-ROM) of the 17th Annual Conference of POMS.* Boston, USA: Production and Operations Management Society (POMS). 25 Haziran 2020'de https://research.utwente.nl/en/publications/empirical-research-in-om-three-paradigms adresinden alındı

Tanyaş, M. ve Baskak, M. (2017). *Üretim Planlama ve Kontrol (7. Baskı).* İstanbul: İrfan Yayıncılık.

Therneau, T. ve Atkinson, B. (2022). _rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees_. R package version 4.1.16. 10 Aralık 2021'de https://CRAN.R-project.org/package=rpart adresinden alındı

Thurer, M., Fernandes, N. O. ve Stevenson, M. (2020). Production Planning and Control in Multi-Stage Assembly Systems:An Assessment of Kanban, MRP, OPT (DBR) and DDMRP by Simulation. *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207543.2020.1849847

Thurer, M., Stevenson, M. ve Protzman, C. (2016). *Card-based control systems for a lean work design : the fundamentals of kanban conwip polca and cobacabana.* Boca Raton: CRC Press

van Kampen, T. J., Akkerman, R. ve van Donk, D. P. (2012). SKU classification: A literature review and conceptual framework. *International Journal of Operations and Production Management, 32*(7), 850-876. doi:10.1108/01443571211250112

Velasco-Acosta, A. P. (2021). *Développement d'une méthodologie de sélection de méthodes pour la planification et le contrôle de la fabrication* [Doctoral Thesis / Polytechnique Montréal]. 19 Mayıs 2022'de https://publications.polymtl.ca/9097 adresinden alındı

Velasco-Acosta, A. P., Mascle, C. ve Baptiste, P. (2020). Applicability of Demand-Driven MRP in a complex manufacturing environment. *International Journal of Production Research, 58*(14), 4233-424. doi:10.1080/00207543.2019.1650978 adresinden alındı

Verdouw, C. N., Beulens, A. J., Trienekens, J. H. ve van der Vorst, J. G. (2011). A framework for modelling business processes in demand-driven supply chains . *Production Planning & Control, 22*(4), 365-388.

Vidal, J., Lauras, M., Lamothe, J. ve Miclo, R. (2020). Toward an Aggregate Approach for Supporting Adaptive Sales and Operations Planning. *IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2020*, 1031–1038. doi:10.1109/ICIEA49774.2020.9102060

Vrat, P. (2014). *Materials management : an integrated systems approach.* New Delhi: Springer.

Wanke, P. F. ve Zinn, W. (2004). Strategic logistics decision making. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 34*(6), 466-478.

Watson, K. ve Patti, A. (2008). A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime. *International Journal of Production Research, 46*(7), 1869-1885.

Wight, O. W. (1984). *Manufacturing Resource Planning: MRP II.* New York: Oliver Wight Ltd.

Wijngaard, J. (2007). Beyond MRP II: On the future of Standart Software for Production Planning and Control. *Logistics Information Management, 3*(4), 1-3.

Wikner, J. (2014). On decoupling points and decoupling zones. *Production and Manufacturing Research, 2*(1), 167-215. doi:10.1080/21693277.2014.898219

Wikner, J. ve Johansson, E. (2015). Inventory classification based on decoupling points. *Production & Manufacturing Research, 3*(1), 218-235. doi:10.1080/21693277.2015.1067845

Xu, G., Guan, Z., Yue, L. ve Mumtaz, J. (2023). An efficient production planning approach based demand driven MRP under resource constraints. *International Journal of Industrial Engineering Computations, 14*(3), 451-466. doi:10.5267/j.ijiec.2023.5.003

Zenkova, Z. ve Kabanova, T. (2018). The ABC-XYZ analysis modified for data with outliers. *Proceedings - GOL 2018: 4th IEEE International Conference on Logistics Operations Management*, (s. 1-6). doi:10.1109/GOL.2018.8378073 adresinden alındı

EKLER

EK-1 Örnek Vaka Ürün Ağacı SKU Listesi

Tablo Ek.1.1 Örnek Vaka Ürün Ağacı Kalemleri ve Başlangıç Özellikleri

S.No	Ürün Tipi	SKU Adı	Çocuk SKU	OGK	TS (gün)	Küm. TS (gün)	Tampon	ATS (gün)	Maliyeti	Satış Fiyatı	Parça Profili	İş İstasyonu
1	Nihai	SKU101	SKU201A	125	2	37	1	24	2787	4181	ÜKO (MSM)	WS_101
2	Ara	SKU201A	SKU202A	648	5	34	0	20	225	0	AUO (ILM)	WS_201
3	Ara	SKU202A	SKU203A	780	7	34	0	22	1209	0	AUO (ILM)	WS_202
4	Ara	SKU203A	SKU301P	650	6	35	0	21	312	0	AUO (ILM)	WS_203
5	S.A.	SKU301P	SKU302	1997	5	5	1	5	125	0	SKO (PSM)	RAW
6	Ara	SKU302	SKU303	1997	4	29	0	15	375	0	AUO (ILM)	WS_302
7	Ara	SKU303	SKU304	1997	3	27	0	15	235	0	AUO (ILM)	WS_303
8	Ara	SKU304	SKU305	1997	5	18	0	5	65	0	AOO (IMM)	WS_304
9	Ara	SKU305	SKU306P	1997	4	29	0	15	181	0	AUO (ILM)	WS_305
10	S.A.	SKU306P	SKU401	1997	25	25	1	25	11	0	SUO (PLM)	RAW
11	Ara	SKU401	SKU402	1997	3	18	0	3	73	0	AKO (ISM)	WS_401
12	Ara	SKU402	SKU403P	3994	4	25	0	11	138	0	AUO (ILM)	WS_402
13	S.A.	SKU403P	SKU404P	1997	9	9	1	9	28	0	SKO (PSM)	RAW
14	S.A.	SKU404P	SKU405	1997	8	8	1	8	35	0	SKO (PSM)	RAW
15	Ara	SKU405	SKU406P	1997	2	24	0	12	123	0	AUO (ILM)	WS_405
16	S.A.	SKU406P	SKU402	1997	13	13	1	13	45	0	SOO (PMM)	RAW
17	S.A.	SKU501P	SKU501P	1997	7	7	1	7	33	0	SKO (PSM)	RAW
18	S.A.	SKU502P	SKU502P	1997	15	15	1	15	25	0	SOO (PMM)	RAW
19	Ara	SKU503	SKU503	3994	4	21	0	7	87	0	AOO (IMM)	WS_503
20	Ara	SKU504	SKU504	1997	6	22	0	10	63	0	AUO (ILM)	WS_504
21	S.A.	SKU505P	SKU505P	1997	21	21	1	21	9	0	SUO (PLM)	RAW
22	S.A.	SKU601P	SKU601P	3994	9	9	1	9	13	0	SKO (PSM)	RAW
23	Ara	SKU602	SKU602	3994	3	17	0	3	37	0	AKO (ISM)	WS_602
24	S.A.	SKU603P	SKU603P	1997	7	7	1	7	11	0	SKO (PSM)	RAW
25	Ara	SKU604	SKU604	1997	4	16	0	4	25	0	AKO (ISM)	WS_604
26	S.A.	SKU605P	SKU605P	1997	8	8	1	8	18	0	SKO (PSM)	RAW
27	S.A.	SKU701P	SKU701P	3994	7	7	1	7	9	0	SKO (PSM)	RAW
28	S.A.	SKU702P	SKU702P	3994	14	14	1	14	5	0	SOO (PMM)	RAW
29	S.A.	SKU703P	SKU703P	3994	12	12	1	12	7	0	SOO (PMM)	RAW
30	S.A.	SKU704P	SKU704P	3994	6	6	1	6	4	0	SKO (PSM)	RAW
31	Ara	SKU201B	SKU301P	367	5	34	0	20	199	0	AUO (ILM)	WS_201
32	Ara	SKU201C	SKU302	337	5	34	0	20	199	0	AUO (ILM)	WS_201
33	Ara	SKU201D	SKU301P	645	5	34	0	20	173	0	AUO (ILM)	WS_201
34	Ara	SKU202B	SKU302	727	7	34	0	22	904	0	AUO (ILM)	WS_202
35	Ara	SKU202C	SKU301P	490	7	34	0	22	1077	0	AUO (ILM)	WS_202

S.No	Ürün Tipi	SKU Adı	Çocuk SKU	OGK	TS (gün)	Küm. TS (gün)	Tampon	ATS (gün)	Maliyeti	Satış Fiyatı	Parça Profili	İş İstasyonu
36	Ara	SKU203B	SKU302	760	6	35	0	21	330	0	AUO (ILM)	WS_203
37	Ara	SKU203C	SKU303	215	6	35	0	21	333	0	AUO (ILM)	WS_203
38	Ara	SKU203D	SKU304	372	6	35	0	21	321	0	AUO (ILM)	WS_203
39	Nihai	SKU102	SKU303	20	2	37	1	24	3173	4760	ÜKO (MSM)	WS_101
40	Nihai	SKU103	SKU304	21	1	36	1	23	2548	3822	ÜKO (MSM)	WS_101
41	Nihai	SKU104	SKU305	8	2	37	1	24	2390	3585	ÜKO (MSM)	WS_101
42	Nihai	SKU105	SKU306P	112	1	36	1	23	2495	3743	ÜKO (MSM)	WS_101
43	Nihai	SKU106	SKU305	121	2	37	1	24	2448	3672	ÜKO (MSM)	WS_101
44	Nihai	SKU107	SKU306P	10	1	36	1	23	2451	3677	ÜKO (MSM)	WS_101
45	Nihai	SKU108	SKU305	8	2	37	1	24	2034	3051	ÜKO (MSM)	WS_101
46	Nihai	SKU109	SKU306P	30	1	36	1	23	2177	3266	ÜKO (MSM)	WS_101
47	Nihai	SKU110	SKU201A	40	2	37	1	24	2206	3309	ÜKO (MSM)	WS_101
48	Nihai	SKU111	SKU202A	32	1	36	1	23	2141	3212	ÜKO (MSM)	WS_101
49	Nihai	SKU112	SKU203B	121	2	37	1	24	2606	3909	ÜKO (MSM)	WS_101
50	Nihai	SKU113	SKU201A	27	1	36	1	23	2858	4287	ÜKO (MSM)	WS_101
51	Nihai	SKU114	SKU202A	115	2	37	1	24	2392	3588	ÜKO (MSM)	WS_101
52	Nihai	SKU115	SKU203C	12	1	36	1	23	3043	4565	ÜKO (MSM)	WS_101
53	Nihai	SKU116	SKU201A	13	2	37	1	24	2641	3962	ÜKO (MSM)	WS_101
54	Nihai	SKU117	SKU202A	11	1	36	1	23	2345	3518	ÜKO (MSM)	WS_101
55	Nihai	SKU118	SKU203D	21	2	37	1	24	1987	2981	ÜKO (MSM)	WS_101
56	Nihai	SKU119	SKU201A	12	1	36	1	23	2231	3347	ÜKO (MSM)	WS_101
57	Nihai	SKU120	SKU202B	20	2	37	1	24	1969	2954	ÜKO (MSM)	WS_101
58	Nihai	SKU121	SKU203A	109	1	36	1	23	2265	3398	ÜKO (MSM)	WS_101
59	Nihai	SKU122	SKU201A	9	2	37	1	24	2667	4001	ÜKO (MSM)	WS_101
60	Nihai	SKU123	SKU202B	10	1	36	1	23	2191	3287	ÜKO (MSM)	WS_101
61	Nihai	SKU124	SKU203B	8	2	37	1	24	2144	3216	ÜKO (MSM)	WS_101
62	Nihai	SKU125	SKU201A	11	1	36	1	23	2414	3621	ÜKO (MSM)	WS_101
63	Nihai	SKU126	SKU202B	135	2	37	1	24	2297	3446	ÜKO (MSM)	WS_101
64	Nihai	SKU127	SKU203C	12	1	36	1	23	2664	3996	ÜKO (MSM)	WS_101
65	Nihai	SKU128	SKU201A	7	2	37	1	24	2459	3689	ÜKO (MSM)	WS_101
66	Nihai	SKU129	SKU202B	60	1	36	1	23	1778	2667	ÜKO (MSM)	WS_101
67	Nihai	SKU130	SKU203D	14	2	37	1	24	2313	3470	ÜKO (MSM)	WS_101
68	Nihai	SKU131	SKU201A	12	1	36	1	23	2516	3774	ÜKO (MSM)	WS_101
69	Nihai	SKU132	SKU202C	23	2	37	1	24	2176	3264	ÜKO (MSM)	WS_101
70	Nihai	SKU133	SKU203A	27	1	36	1	23	2591	3887	ÜKO (MSM)	WS_101
71	Nihai	SKU134	SKU201A	16	2	37	1	24	1943	2915	ÜKO (MSM)	WS_101
72	Nihai	SKU135	SKU202C	12	1	36	1	23	2242	3363	ÜKO (MSM)	WS_101
73	Nihai	SKU136	SKU203B	8	2	37	1	24	2185	3278	ÜKO (MSM)	WS_101
74	Nihai	SKU137	SKU201A	113	1	36	1	23	2319	3479	ÜKO (MSM)	WS_101
75	Nihai	SKU138	SKU202C	122	2	37	1	24	2926	4389	ÜKO (MSM)	WS_101
76	Nihai	SKU139	SKU203C	33	1	36	1	23	2993	4490	ÜKO (MSM)	WS_101
77	Nihai	SKU140	SKU201A	6	2	37	1	24	2928	4392	ÜKO (MSM)	WS_101
78	Nihai	SKU141	SKU202C	14	1	36	1	23	1876	2814	ÜKO (MSM)	WS_101
79	Nihai	SKU142	SKU203D	122	2	37	1	24	2012	3018	ÜKO (MSM)	WS_101
80	Nihai	SKU143	SKU201B	40	1	36	1	23	2488	3732	ÜKO (MSM)	WS_101
81	Nihai	SKU144	SKU202A	127	2	37	1	24	2268	3402	ÜKO (MSM)	WS_101
82	Nihai	SKU145	SKU203A	11	1	36	1	23	2418	3627	ÜKO (MSM)	WS_101

S.No	Ürün Tipi	SKU Adı	Çocuk SKU	OGK	TS (gün)	Küm. TS (gün)	Tampon	ATS (gün)	Maliyeti	Satış Fiyatı	Parça Profili	İş İstasyonu
83	Nihai	SKU146	SKU201B	25	2	37	1	24	2199	3299	ÜKO (MSM)	WS_101
84	Nihai	SKU147	SKU202A	9	1	36	1	23	2108	3162	ÜKO (MSM)	WS_101
85	Nihai	SKU148	SKU203B	23	2	37	1	24	2122	3183	ÜKO (MSM)	WS_101

AÇIKLAMALAR:
Tampon sütunundaki '1' tampon var, '0' tampon yok manasındadır.
Ebeveyn-çocuk bağlantısında ürün ağacı kullanım miktarı varsayılan olarak 1 alınmıştır.
Tampon konum bilgilerinin değişmesi, ATS ve Parça Profili atamalarını değiştirir. Buradaki tampon konumlandırma (son ürünler + satın alınanlar) örnek vaka kapsamındaki başlangıç anlatımı içindir. Senaryolar esnasında dinamik olarak değişmektedir.

ATS. : Ayrıştırılmış Tedarik Süresi
OGK : Ortalama Günlük Kullanım adedi S.A. : Satın Alınan
TS : Tedarik Süresi Küm.TS : Kümülatif Tedarik Süresi

Tablo Ek.1.2 Örnek Vaka Başlangıç Tampon Boyutları (Son + Satın Alınan ürünler)

S.No	Ürün Tipi	SKU	YBT	SBT	KBT	YB	SB	KB	KBaz	KEmn
1	Nihai	SKU101	5250	4350	1350	900	3000	1350	900	450
2	S.A.	SKU301P	29955	21967	11982	7988	9985	11982	7988	3994
3	S.A.	SKU306P	87368	72391	22466	14977	49925	22466	14977.5	7488.8
4	S.A.	SKU403P	53918	39540	21567	14378	17973	21567	14378.4	7189.2
5	S.A.	SKU404P	47927	35147	19171	12780	15976	19171	12780.8	6390.4
6	S.A.	SKU406P	58411	45431	19470	12980	25961	19470	12980.5	6490.3
7	S.A.	SKU501P	41936	30753	16774	11183	13979	16774	11183.2	5591.6
8	S.A.	SKU502P	67398	52421	22466	14977	29955	22466	14977.5	7488.8
9	S.A.	SKU505P	73389	60808	18871	12581	41937	18871	12581.1	6290.6
10	S.A.	SKU601P	107837	79081	43135	28756	35946	43135	28756.8	14378.4
11	S.A.	SKU603P	41936	30753	16774	11183	13979	16774	11183.2	5591.6
12	S.A.	SKU605P	47927	35147	19171	12780	15976	19171	12780.8	6390.4
13	S.A.	SKU701P	83873	61507	33549	22366	27958	33549	22366.4	11183.2
14	S.A.	SKU702P	125811	97853	41937	27958	55916	41937	27958	13979
15	S.A.	SKU703P	107838	83874	35946	23964	47928	35946	23964	11982
16	S.A.	SKU704P	71891	52720	28756	19171	23964	28756	19171.2	9585.6
17	Nihai	SKU102	840	696	216	144	480	216	144	72
18	Nihai	SKU103	844	700	217	144	483	217	144.9	72.5
19	Nihai	SKU104	335	278	86	57	192	86	57.6	28.8
20	Nihai	SKU105	4507	3735	1159	772	2576	1159	772.8	386.4
21	Nihai	SKU106	5081	4210	1306	871	2904	1306	871.2	435.6
22	Nihai	SKU107	402	333	103	69	230	103	69	34.5
23	Nihai	SKU108	335	278	86	57	192	86	57.6	28.8
24	Nihai	SKU109	1207	1000	310	207	690	310	207	103.5
25	Nihai	SKU110	1680	1392	432	288	960	432	288	144
26	Nihai	SKU111	1287	1067	331	220	736	331	220.8	110.4

S.No	Ürün Tipi	SKU	YBT	SBT	KBT	YB	SB	KB	KBaz	KEmn
27	Nihai	SKU112	5081	4210	1306	871	2904	1306	871.2	435.6
28	Nihai	SKU113	1086	900	279	186	621	279	186.3	93.1
29	Nihai	SKU114	4830	4002	1242	828	2760	1242	828	414
30	Nihai	SKU115	482	400	124	82	276	124	82.8	41.4
31	Nihai	SKU116	545	452	140	93	312	140	93.6	46.8
32	Nihai	SKU117	441	366	113	75	253	113	75.9	37.9
33	Nihai	SKU118	881	730	226	151	504	226	151.2	75.6
34	Nihai	SKU119	482	400	124	82	276	124	82.8	41.4
35	Nihai	SKU120	840	696	216	144	480	216	144	72
36	Nihai	SKU121	4387	3635	1128	752	2507	1128	752.1	376.1
37	Nihai	SKU122	377	313	97	64	216	97	64.8	32.4
38	Nihai	SKU123	402	333	103	69	230	103	69	34.5
39	Nihai	SKU124	335	278	86	57	192	86	57.6	28.8
40	Nihai	SKU125	441	366	113	75	253	113	75.9	37.9
41	Nihai	SKU126	5670	4698	1458	972	3240	1458	972	486
42	Nihai	SKU127	482	400	124	82	276	124	82.8	41.4
43	Nihai	SKU128	293	243	75	50	168	75	50.4	25.2
44	Nihai	SKU129	2415	2001	621	414	1380	621	414	207
45	Nihai	SKU130	587	487	151	100	336	151	100.8	50.4
46	Nihai	SKU131	482	400	124	82	276	124	82.8	41.4
47	Nihai	SKU132	965	800	248	165	552	248	165.6	82.8
48	Nihai	SKU133	1086	900	279	186	621	279	186.3	93.1
49	Nihai	SKU134	671	556	172	115	384	172	115.2	57.6
50	Nihai	SKU135	482	400	124	82	276	124	82.8	41.4
51	Nihai	SKU136	335	278	86	57	192	86	57.6	28.8
52	Nihai	SKU137	4547	3768	1169	779	2599	1169	779.7	389.8
53	Nihai	SKU138	5123	4245	1317	878	2928	1317	878.4	439.2
54	Nihai	SKU139	1327	1100	341	227	759	341	227.7	113.9
55	Nihai	SKU140	251	208	64	43	144	64	43.2	21.6
56	Nihai	SKU141	562	466	144	96	322	144	96.6	48.3
57	Nihai	SKU142	5123	4245	1317	878	2928	1317	878.4	439.2
58	Nihai	SKU143	1610	1334	414	276	920	414	276	138
59	Nihai	SKU144	5333	4419	1371	914	3048	1371	914.4	457.2
60	Nihai	SKU145	441	366	113	75	253	113	75.9	37.9
61	Nihai	SKU146	1050	870	270	180	600	270	180	90
62	Nihai	SKU147	362	300	93	62	207	93	62.1	31
63	Nihai	SKU148	965	800	248	165	552	248	165.6	82.8

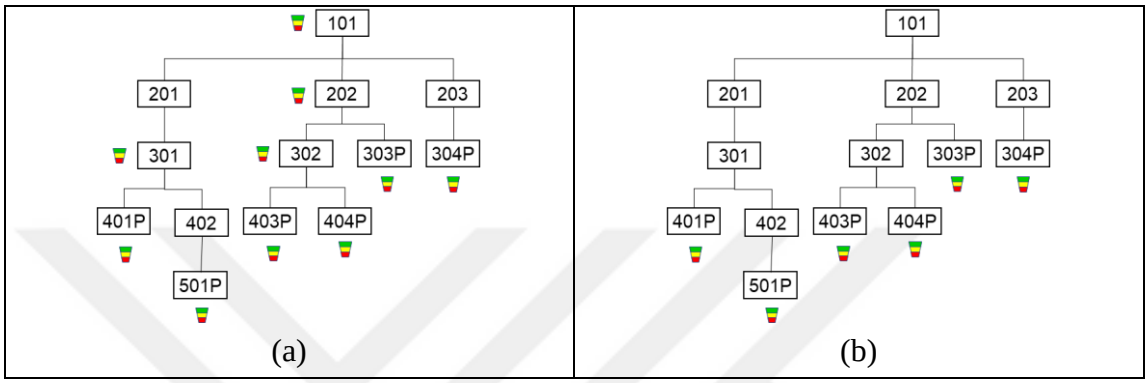
AÇIKLAMALAR:
Tamponların, son ürünler ve satın alınanlar ürünlerde konumlandırıldığı durumda oluşan tampon boyutu bileşenleridir. TS ve değişkenlik faktörleri orta düzey yani 0.5 alınmıştır. Diğer bilgiler Tablo Ek.1.1 ile aynıdır. Örnek vaka kapsamındaki başlangıç anlatımı içindir. Senaryolar esnasında dinamik olarak değişmektedir.

YBT : Yeşil Bölge Tepesi SBT : Sarı Bölge Tepesi KBT : Kırmızı Bölge Tepesi
YB : Yeşil Bölge SB : Sarı Bölge KB : Kırmızı Bölge
KBaz : Kırmızı Baz KEmn : Kırmızı Emniyet

EK-2 Model Doğrulama ve Geçerleme İşlemleri

Doğrulama:

Çalışmada doğrulama için Rim ve diğerlerinin (2014) çalışmalarında kullandıkları tek son ürün içeren basit bir ürün ağacı esas alınmıştır (Şekil Ek.2.1).



Şekil Ek.2.1 Doğrulama için Kullanılan Rim vd. (2014) Örnek Ürün Ağacı ve Tamponları

Şekil Ek.2.1.(a)'daki ürün ağacı üzerinde tampon noktaları sembollerle gösterilmiştir. Bu ürün ağacına ait diğer parametreler Tablo Ek.2.1 girdi bloğunda verilmiştir. Tezde kodlanan simülasyonun doğru hesaplama yaptığını teyit etmek için bu ürün ağacı, Tablo Ek.2.1 girdi veri bloğu parametreleri ile simülasyon modeline girilmiştir. Girilen veriler kapsamında modelin tampon boyutlarını oluşturan yeşil, sarı ve kırmızı bölgeler ile ATS hesaplamaları manuel olarak teyit edilmiştir. Manuel hesaplamalar, DDMRP esaslarının anlatıldığı Bölüm 2.2, Şekil 4'teki tampon hesaplama formülleri ile yapılmıştır. Simülasyonun ürettiği sonuçlar Tablo Ek.2.1 çıktılar bloğundadır.

Tablo Ek.2.1 Doğrulama Veri ve Çıktıları

S.No	Girdiler									Çıktılar			
	Ürün Tipi	SKU	OGK	TS	ÜA Miktar	Maliyet	Tampon	TSF	DF	ATS	YB	SB	KB
1	Nihai	101	50	2	1	700	Var	0.5	0.5	8	200	400	300
2	Ara	201	50	5	1	120	-	0.5	0.5	5	125	250	187
3	Ara	202	50	7	1	250	Var	0.5	0.5	7	175	350	262
4	Ara	203	150	6	3	100	-	0.5	0.5	6	450	900	675

S.No	Girdiler									Çıktılar			
	Ürün Tipi	SKU	OGK	TS	ÜA Miktar	Maliyet	Tampon	TSF	DF	ATS	YB	SB	KB
5	Ara	301	100	4	2	65	Var	0.5	0.5	8	400	800	600
6	Ara	302	250	4	5	80	Var	0.8	0.5	4	800	1000	1200
7	S.A.	303P	50	3	1	110	Var	0.8	0.5	3	120	150	180
8	S.A.	304P	150	3	1	40	Var	0.8	0.5	3	360	450	540
9	S.A.	401P	100	3	1	24	Var	0.8	0.5	3	240	300	360
10	Ara	402	100	4	1	16	-	0.8	0.5	4	320	400	480
11	S.A.	403P	500	3	2	21	Var	0.8	0.5	3	1200	1500	1800
12	S.A.	404P	1000	7	4	27	Var	0.8	0.5	7	5600	7000	8400
13	S.A.	501P	600	11	6	9	Var	0.5	0.5	11	3300	6600	4950

AÇIKLAMALAR:
OGK : Ortalama Günlük Kullanım adedi ATS: Ayrıştırılmış Tedarik Süresi
S.A. : Satın Alınan TS : Tedarik Süresi TSF: Tedarik Süresi Faktörü
DF: Değişkenlik Faktörü YB: Yeşil Bölge SB: Sarı Bölge KB: Kırmızı Bölge
ÜA Miktar: Ürün ağacında bir üst ürünü yapmak için gereken miktar (son ürün hariç)

Doğrulamada temel olarak JaamSim simülasyon yazılımında bulunan ve olayları takip ederek raporlamaya yarayan "trace" (izleme) özelliğinden faydalanılmıştır. Kodlanan iş akışlarının istendiği gibi çalışıp çalışmadığının anlamada bu özellik kullanılmıştır. Örneğin yukarıdaki ürün ağacında bu sefer sadece satın alınan ürünlerde tampon stok olduğu (Şekil Ek.2.1.(b)) varsayılarak ve sadece tek seferlik bir siparişin alınmasının izleme çıktıları Şekil Ek.2.2'de görülebilir. Burada SKU 101'e gelen bir talebin aşağı doğru patlatılması ve ilgili transfer, üretim ve satın alma emirlerinin zamanlaması ve sıratı teyit edilebilmektedir.

```
Env and Model loading time: 00:00:03.305
Running scenario definition { 1 } with 1 replications (iniDur: 260.0 d, runDur: 365.0 d)
Current Mem (MB) start=4096, max=10240
{ 1 }:  1: 1

TIME = 1,000000 h,  TICKS = 3600000000
MainPlanner:addEntity(SKU101_Dmnd1)

TIME = 8,000000 h,  TICKS = 28800000000
MainPlanner: (in process SALORDs - supord gen) non-buff DDMRP part (SKU101) with BUK 16 was BUK2
processed (backOrdQue, scheduleRenegeEvent)!
MainExecuter:addEntity(SKU101_sply1)
MainPlanner: (in process SALORDs - supord gen) Gross supo ORD-982-1-1232 (SKU101_sply1) for non-buff
sellable DDMRP parts was generated from tmpSaloMap! [Gross supo - SKU101/48,0/SUPORD:req d076 h09-rel
d001 h00 (1809,00-0,00 h)]

TIME = 9,000000 h,  TICKS = 32400000000
MainExecuter: EXPLOSION Order ORD-1000-EXP1.7.7-7 (SKU402_ddrls7 [peg.1:ORD-990-EXP1.5.5]) was evt-
RELEASED to MainExecuter! [SKU402/96,0/MANORD:req d021 h09-rel d001 h09 (489,00-9,00 h)]
MainExecuter:addEntity(SKU402_ddrls7)
```

MainExecuter: TRANSFER Order REL-1017-1-1241 (SKU501P_SKU402_ddrls7_Xpd1) was RELEASED to shop floor! (SOURCE: ORD-1000-EXP1.7.7-7 (SKU402_ddrls7)) [SKU402/576,0/TRNORD:req d001 h09-rel d001 h09 (9,00-9,00 h)]

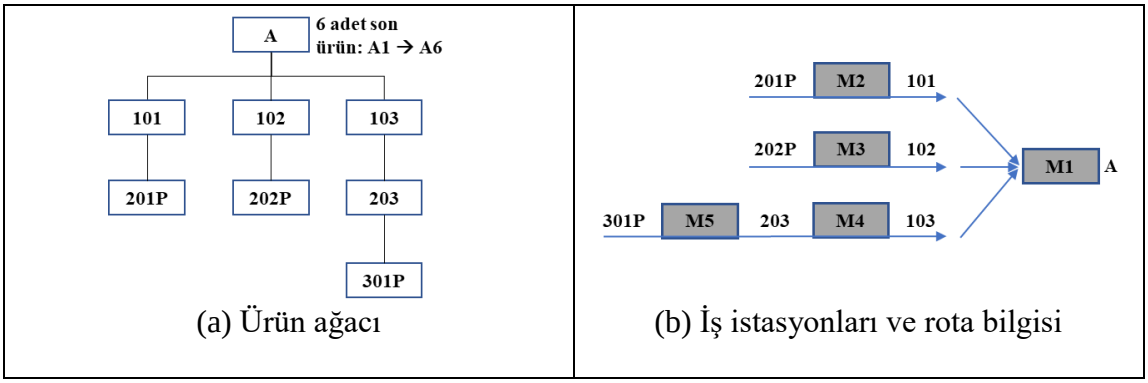
TIME = 249,000000 h, TICKS = 896400000000
MainExecuter: EXPLOSION Order ORD-992-EXP1.6.6-6 (SKU302_ddrls6 [peg.1:ORD-986-EXP1.3.3]) was evt-RELEASED to MainExecuter! [SKU302/240,0/ASMORD:req d031 h09-rel d011 h09 (729,00-249,00 h)]
MainExecuter:addEntity(SKU302_ddrls6)
MainExecuter: TRANSFER Order REL-1017-2-1242 (SKU403P_SKU302_ddrls6_Xpd2) was RELEASED to shop floor! (SOURCE: ORD-992-EXP1.6.6-6 (SKU302_ddrls6)) [SKU302/480,0/TRNORD:req d011 h09-rel d011 h09 (249,00-249,00 h)]
MainExecuter: TRANSFER Order REL-1017-3-1243 (SKU404P_SKU302_ddrls6_Xpd3) was RELEASED to shop floor! (SOURCE: ORD-992-EXP1.6.6-6 (SKU302_ddrls6)) [SKU302/960,0/TRNORD:req d011 h09-rel d011 h09 (249,00-249,00 h)]

TIME = 277,567137 h, TICKS = 999241694293
MainPlanner:addEntity(SKU501P_SKU402_ddrls7_Xpd1)
MainExecuter: >>>>>> REPLENISHMENT Order REL-1017-1-1241 (SKU501P_SKU402_ddrls7_Xpd1 [peg.1:ORD-1000-EXP1.7.7-7]) was RECEIVED! [SKU402/96,0/REPORD:req d001 h09-rel d001 h09 (9,00-9,00 h)]
  MainExecuter:RELIEVE-CHECKING waiting QUE MainExecuter_WaitOHQue for REPO [REL-1017-1-1241] to remove any waiting order that matches!
  MainExecuter:NOTHING TO RELIEVE to remove from waiting QUE!
…

Şekil Ek.2.2 Simülasyon Modeli Doğrulama için İzleme (Trace) Çıktı Örneği

Geçerleme:

Model geçerleme (verification) için Miclo'nun (2019) çalışmasında kullanılan örnek vaka (Şekil Ek.2.3) yapı ve parametreleri esas alınmıştır. İlave detaylar için Miclo'nun (2016; 2019) çalışmalarına bakılabilir.



(a) Ürün ağacı

(b) İş istasyonları ve rota bilgisi

Makine	MTBF (sa.)	MTBR (sa.)
M1	Üstel(21.25)	Üçgensel (0.8, 1.6, 3.2)
M2	Üstel(17.80)	Üçgensel (1.1,2.2, 4.4)
M3	Üstel (11.6)	Üçgensel(0.86,1.73, 3.46)
M4	Üstel (9.70)	Üçgensel (0.4 8,0.96, 0.92)
M5	Üstel (15.19)	Üçgensel (0.4,0.8, 1.6)

(c) İş istasyonu arıza/tamir dağılımı

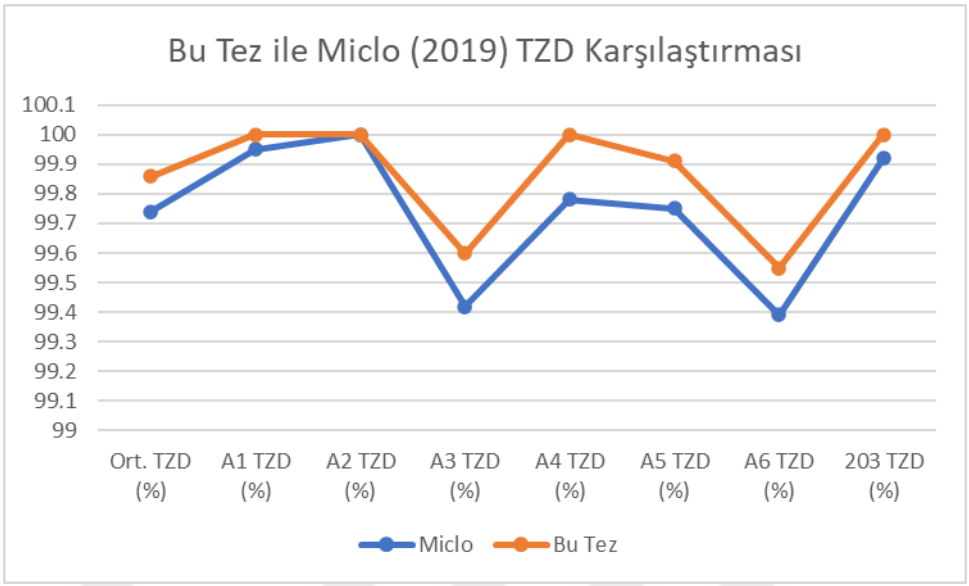
SKU	Talep Oluşturma Parametreleri
A1	10 * Yuvarla (20 * Beta (1.6, 1)/10, 0)
A2	10 * Yuvarla (12 * Beta (1, 3)/10, 0)
A3	10 * Yuvarla (20 * Beta (1.1, 0.9)/10, 0)
A4	10 * Yuvarla (40 * Beta (1, 1.2)/10, 0)
A5	10 * Yuvarla (22 * Beta (1.3, 2)/10, 0)
A6	10 * Yuvarla (23 * Beta (0.3, 0.5)/10, 0)
203	20 * Yuvarla (55 * Beta (0.2,0.3)/20, 0)

(d) Satılabilir ürünler talep dağılımı

- Atölye 6 son ürün ve bir yedek parça (203) için talep almakta, üretim yapmaktadır.
- Makineler haftalık 45 saat kapasiteye sahiptir. Her partinin üretimi 1 saattir.
- Son ürünlerin parti büyüklüğü 10, yedek parça olarak talep gören 203'ün ise 20'dir.
- Transferler anlık, ham madde kaynağı sınırsız ve üretimde sıfır kayıp varsayılmıştır.

Şekil Ek.2.3 Geçerleme için Kullanılan Miclo (2019) Örnek Vaka Özellikleri

Bu tezde geliştirilen DDMRP simülasyon modeli, Miclo'nun (2019) çalışmasındaki esaslarla bir yıllık süreyle (240 gün) çalıştırılmıştır. Yılın yarısı (120 gün) simülasyonun düzenli hale gelmesi için çalıştırıldıktan sonra, ikinci yarısında istatistikler toplanmıştır. Talep gören SKU'lar bazında ortalama sipariş karşılama oranı (SKO) performans göstergesi kullanılarak yapılan karşılaştırma (Şekil Ek.2.4), iki modelin sonuçlarının uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu tezde SKO hesaplanırken, karşılanan siparişler gün sonuna kadar müşteriye ulaştığında (sipariş tarihi günün ilk saati olmasına rağmen) tam karşılanmış kabul edilmektedir. Bu nedenle tezdeki SKO oranlarının bir miktar yüksek çıktığı, ama tutarsız olmadığı değerlendirilmektedir.



Şekil Ek.2.4 Geçerleme için Miclo (2019) ile TZD Karşılaştırması

EK-3 DDMRP Tampon Konumlandırma Optimizasyon Modeli (T-KOM)

Jiang ve Rim'in (2016) çalışmasını esas alarak oluşturulan modelin parametreleri ve gösterim notasyonu aşağıdadır. Jiang ve Rim (2016) modelin veri ve parametrelerinin ifadesinde ürün ağacını matris yapısında göstermişlerdir. Biz burada ürün ağacı ve ilgili bilgilerin doğal gösterimi için ağaç graf veri yapısını kullandık. Ürün ağacının G(N, A) olarak ifade edildiği modelin parametreleri aşağıda sunulmuştur.

N: ürün ağacı düğümlerinden (ürünler) oluşan küme
A: ürün ağacı $(i, j) \in |NxN|$ ayrıtlarından (ürün bağlantıları) oluşan küme. (i, j) bağlantısında i ebeveyn, j çocuk üründür.
E: son (nihai) ürünler kümesi, $E \subset N$
i, j, k: ürün ağacındaki parça indeksi, $i = j = k = 1, 2, \ldots |N|$
par_i: ürün ağacındaki i indeksli parça
B_i: par_i ürününün ebeveynlerinden oluşan küme, $i \in N$
C_i: par_i ürününün çocuklarından oluşan küme, $i \in N$
ats_i: par_i ürününün ayrışık tedarik süresi
t_{kij}: k son ürünü için; j ürününün, ebeveyni i ürününü yapması için gereken işlem süresi, $k \in E, (i, j) \in A$
tt_j: j ürününün, tüm ebeveynlerini yapmak için gereken toplam işlem süresi
t_{ij}: j ürününün, ebeveyni olan i ürününü yapmak için gereken işlem süresi, $i \in E, (i, j) \in A$
tt_j: j ürününün, tüm ebeveynlerini yapmak için gereken toplam işlem süresi
q_{ij}: j ürününün, ebeveyni olan i ürününün bir birimini yapmak için gereken, miktar, $(i, j) \in A$
nm_{kij}: k son ürününü yapmak için ebeveyn i üzerinden gereken j ürün miktarı, $k \in E, (i, j) \in A$
m_{kj}: k son ürününü yapmak için gereken toplam j ürün miktarı, $k \in E, j \in N$
ogk_i: par_i ürününün ortalama günlük kullanım miktarı
sm_i: par_i ürününün yıllık stok maliyeti
os_i: par_i ürününün ortalama stok miktarı
bf_i: par_i ürününün birim fiyatı
tsf_i: par_i ürününün tedarik süresi kategorisi için faktör
df_i: par_i ürününün değişkenlik kategorisi için faktör
h: yıllık stok tutma maliyeti
mts_k: par_k nihai ürününün müşteri tolerans süresi, $k \in E$
yb_i: stok tutulması durumunda par_i ürününün tampon yeşil bölgesi miktarı
sb_i: stok tutulması durumunda par_i ürününün tampon sarı bölgesi miktarı
kb_i: stok tutulması durumunda par_i ürününün tampon kırmızı bölgesi miktarı
kbt_i: stok tutulması durumunda par_i ürününün tampon kırmızı bölgesi temel miktarı
kbe_i: stok tutulması durumunda par_i ürününün tampon kırmızı bölgesi emniyet miktarı

Aşağıda ifade edilen model Jiang ve Rim'in (2016) çalışmasından şu şekliyle farklıdır. Modelde yer alan ats hesaplamalarında, çoklu ebeveyne sahip parçaların hangi ebeveyni daha önce işleyeceğine göre değişen işlem süresi yerine toplam işlem süresi esas alınmıştır ($t_{kij} = tt_j$). Yani basitleştirme ile $t_{kij} = tt_j * \frac{nm_{kij}}{m_{kj}}$ $; k \in E,\ (i,j) \in A$ hesaplaması terkedilmiştir. Orijinal model çoklu ebeveyne sahip bir parçanın önce hangi ebeveyn için üretileceğine karar vermekteydi. Biz çizelgeleme problemi çözmek yerine ats hesaplamasında basitlik sağlaması ve optimal çözümde bir üst sınır vermeyi hedefledik. Ayrıca modelde tek bir son ürün yerine çoklu son ürün ve bunların müşteri tolerans süreleri kullanılmıştır. Modelin karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıda açıklanmıştır.

Karar değişkenleri ve matematiksel ilişkileri gösteren ifadeler:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } par_i \text{ tampon stoku ise} \\ 0 & \text{eğer } par_i \text{ tampon stoku değilse} \end{cases} \quad \text{(EK-3.1)}$$

$$TM = \sum_{i \in N} sm_i \cdot x_i \quad \text{(EK-3.2)}$$

$$sm_i = bf_i \cdot os_i \cdot h \quad ; i \in N \quad \text{(EK-3.3)}$$

$$os_i = kbt_i + kbe_i + 0.5 \cdot yb_i \quad ; \forall i \in N \quad \text{(EK-3.4)}$$

$$sb_i = ogk_i \cdot ats_i \quad ; i \in N \quad \text{(EK-3.5)}$$

$$yb_i = sb_i \cdot tsf_i \quad ; i \in N \quad \text{(EK-3.6)}$$

$$kbt_i = sb_i \cdot tsf_i \quad ; i \in N \quad \text{(EK-3.7)}$$

$$kbe_i = kbt_i \cdot df_i \quad ; i \in N \quad \text{(EK-3.8)}$$

$$kb_i = kbt_i \cdot kbe_i \quad ; i \in N \quad \text{(EK-3.9)}$$

Eşitlik (EK-3.2) eğer ağacın o düğümünde bulunan ürün tampon ise, yani stok tutuluyorsa ilgili maliyeti fonksiyona ekler. Eşitlik (EK-3.3) ve (EK-3.4) sırasıyla stok maliyetini ve DDMRP metodolojisine göre ortalama stok hesabını (bkz. Bölüm 2.2.5.1) yapmaktadır. Eşitlik (EK-3.5)-(EK-3.9), DDMRP tamponlarının boyutunu oluşturan sarı bölge, yeşil bölge ve kırmız bölgelerin ilgili parametrelerine göre hesaplamalarını yapar. Yukarıdaki

eşitlikleri kullanarak model ifade edilebilir. Aşağıdaki model, ebeveyn işlem sırasını en az ats ile sağlayan Jiang ve Rim'den (2016) uyarlanmıştır.

Model T-KOM:

$$\min TM = \sum_{i \in N} bf_i \cdot os_i \cdot h \cdot x_i \quad \text{(EK-3.10)}$$

$$\text{k.a. } os_i = tsf_i \cdot ogk_i \cdot ats_i \cdot (1.5 + df_i) \quad ; \forall i \in N \quad \text{(EK-3.11)}$$

$$nm_{kij} = m_{ki} \cdot q_{ij} \quad ; k \in E, \ (i,j) \in A \quad \text{(EK-3.12)}$$

$$m_{kj} = \sum_{i:(i,j) \in A} nm_{kij} \quad ; k \in E \quad \text{(EK-3.13)}$$

$$ogk_j = ogk_k \cdot m_{kj} \quad ; k \in E, j \in N \backslash E \quad \text{(EK-3.14)}$$

$$ats_i \leq mts_i \quad ; i \in E \quad \text{(EK-3.15)}$$

$$ats_i = \max_{j \in C_i} \{(1 - x_j) \cdot ats_j + tt_i\} \quad ; i \in N \quad \text{(EK-3.16)}$$

Amaç fonksiyon (EK-3.10), ifade (EK-3.3)'ü kullanarak elde ettiği toplam maliyeti minimize etmeyi hedefler. Kısıt (EK-3.11), DDMRP tampon bölgelerini gösteren (EK-3.5) - (EK-3.9) ifadelerinin sadeleştirilmiş kullanımı ile ortalama stok hesabını yapar. Kısıt (EK-3.12), k son ürününü yapmak için ebeveyn i üzerinden gereken j ürün miktarı hesaplar. Kısıt (EK-3.13) ise k son ürününü yapmak için gereken toplam j ürün miktarını oluşturur. Kısıt (EK-3.15) ilgili son ürünün müşteri bekleme süresine uymasını sağlar. Son olarak da kısıt (EK-3.16) ürün ağacı üzerinde karar değişkeninin alacağı 1 veya 0, yani stok olsun veya olmasın durumuna göre ilgili ürünün tüm çocuklarını tarayarak oluşan ats, yani ayrıştırılmış tedarik süresi değerlerinin en büyüğünü alarak tüm ürün ağacı boyunca ats hesaplaması yapar.

Son olarak T-KOM modelinin doğrusal olmayan bir optimizasyon modeli olduğunu ve büyük ürün ağaçları için genetik vb., buluşsal algoritmalar kullanılmasının uygun olacağını ifade edelim.

EK-4 Senaryo-2 Deney Sonuçları

Tablo Ek.4.1 Senaryo-2 Deney Tasarımı Sonuçları (Tamamı, Ortalamalar)

		1	2	3	4	5	6	7	8
No	Tasarım Kodu	TopStokMly	OrtSKO	TopOrtStok	StokDevHz	TopStokMly			OrtSKO
						A	B	C	A
1	1-1-1-1-1	113,945,938	0.77	619,235	8.17	48,597,653	16,186,007	9,415,946	0.74
2	1-1-1-1-2	116,122,448	0.76	670,473	7.92	48,892,046	15,883,622	9,884,131	0.73
3	1-1-1-1-3	117,184,572	0.74	686,461	7.72	50,427,655	15,999,054	10,000,762	0.72
4	1-1-1-2-1	86,581,422	0.77	939,431	10.58	29,340,323	10,247,061	7,158,621	0.73
5	1-1-1-2-2	94,947,977	0.79	956,895	10.01	34,482,205	12,116,369	7,749,035	0.75
6	1-1-1-2-3	97,594,593	0.77	954,156	9.66	35,909,915	12,076,867	8,539,150	0.74
7	1-1-1-3-1	72,423,857	0.81	1,116,251	12.70	18,172,423	8,273,136	5,247,311	0.70
8	1-1-1-3-2	74,732,532	0.80	1,139,708	12.09	19,184,315	8,906,019	5,676,403	0.68
9	1-1-1-3-3	74,191,269	0.79	1,121,572	12.18	18,972,046	8,818,575	5,612,490	0.69
10	1-1-2-1-1	103,151,943	0.75	691,378	8.86	41,675,835	13,832,465	8,424,200	0.73
11	1-1-2-1-2	104,561,838	0.75	715,782	8.76	42,339,108	13,858,715	8,436,248	0.73
12	1-1-2-1-3	104,286,525	0.75	735,019	8.75	42,040,141	13,903,881	8,381,835	0.73
13	1-1-2-2-1	77,711,330	0.74	981,832	11.26	24,848,623	8,370,531	5,870,405	0.69
14	1-1-2-2-2	77,879,925	0.75	998,248	11.22	24,294,919	8,741,446	6,080,701	0.68
15	1-1-2-2-3	78,160,404	0.75	970,141	11.20	24,280,221	8,724,921	6,192,766	0.68
16	1-1-2-3-1	64,544,386	0.76	1,151,719	13.08	15,020,397	7,025,679	4,535,615	0.63
17	1-1-2-3-2	64,138,616	0.76	1,117,645	13.20	14,895,570	7,022,048	4,519,768	0.63
18	1-1-2-3-3	64,347,095	0.76	1,118,160	13.14	14,945,084	7,045,653	4,587,389	0.63
19	1-1-3-1-1	119,483,241	0.73	650,933	7.81	52,800,138	16,808,096	9,831,444	0.76
20	1-1-3-1-2	118,836,704	0.73	662,916	7.71	51,474,915	16,829,691	10,069,882	0.74
21	1-1-3-1-3	118,538,497	0.70	680,740	7.68	51,671,482	16,351,683	10,136,421	0.74
22	1-1-3-2-1	93,173,391	0.76	942,577	10.03	33,793,044	11,469,148	7,789,921	0.75
23	1-1-3-2-2	91,635,097	0.73	917,299	9.90	32,156,095	12,284,393	7,670,373	0.73
24	1-1-3-2-3	90,454,867	0.73	946,264	10.01	31,120,110	11,375,301	7,822,144	0.73
25	1-1-3-3-1	74,331,451	0.76	1,082,127	12.05	19,686,574	8,893,663	5,202,630	0.70
26	1-1-3-3-2	74,775,510	0.75	1,111,005	11.89	20,064,977	8,857,190	5,348,559	0.69
27	1-1-3-3-3	75,888,058	0.75	1,127,017	11.75	19,921,413	9,275,531	5,711,728	0.69
28	1-2-1-1-1	143,114,602	0.69	1,706,734	5.79	8,301,199	2,523,996	1,673,171	0.65
29	1-2-1-1-2	163,179,285	0.69	1,771,100	5.58	8,828,898	2,527,823	1,527,110	0.74
30	1-2-1-1-3	182,855,611	0.69	1,866,397	5.05	9,857,379	2,601,733	1,632,132	0.79
31	1-2-1-2-1	103,083,395	0.68	1,156,728	8.79	6,616,947	1,942,131	1,334,563	0.76
32	1-2-1-2-2	124,362,150	0.67	1,213,645	7.33	7,576,625	2,056,716	1,373,665	0.78
33	1-2-1-2-3	134,883,455	0.69	1,253,834	6.72	7,527,404	2,235,573	1,399,146	0.72
34	1-2-1-3-1	94,466,481	0.67	899,978	9.58	6,418,729	1,882,089	1,251,576	0.74
35	1-2-1-3-2	101,408,843	0.70	939,000	8.99	6,388,447	1,862,512	1,421,971	0.76
36	1-2-1-3-3	108,158,687	0.69	977,635	8.47	6,306,739	1,851,774	1,401,606	0.77
37	1-2-2-1-1	142,015,813	0.69	1,691,551	5.95	8,567,366	2,421,793	1,641,481	0.67
38	1-2-2-1-2	161,381,793	0.75	1,772,686	5.63	8,616,813	2,422,789	1,763,113	0.73
39	1-2-2-1-3	181,414,472	0.75	1,849,270	5.06	9,646,773	2,646,922	1,829,261	0.74
40	1-2-2-2-1	103,783,777	0.73	1,158,655	8.64	6,350,012	2,007,034	1,532,816	0.72
41	1-2-2-2-2	124,054,420	0.75	1,230,279	7.26	7,153,640	2,121,770	1,582,449	0.72
42	1-2-2-2-3	134,348,263	0.75	1,252,895	6.75	7,195,009	2,156,306	1,602,159	0.72
43	1-2-2-3-1	94,342,626	0.76	904,603	9.52	5,743,737	1,753,844	1,600,097	0.71
44	1-2-2-3-2	101,090,142	0.77	942,264	8.91	5,939,636	1,792,242	1,638,939	0.71
45	1-2-2-3-3	107,889,508	0.77	974,447	8.38	5,959,385	1,800,088	1,614,624	0.72

		1	2	3	4	5	6	7	8
No	Tasarım Kodu	TopStokMly	OrtSKO	TopOrtStok	StokDevHz	TopStokMly			OrtSKO
						A	B	C	A
46	1-2-3-1-1	145,997,553	0.65	1,718,595	5.52	9,160,478	2,419,720	1,483,399	0.65
47	1-2-3-1-2	164,744,463	0.67	1,784,625	5.52	9,671,004	2,378,718	1,414,991	0.75
48	1-2-3-1-3	184,023,176	0.67	1,862,367	5.01	10,855,743	2,409,788	1,473,295	0.80
49	1-2-3-2-1	105,390,281	0.66	1,148,335	8.64	7,364,085	1,853,527	1,246,525	0.79
50	1-2-3-2-2	124,087,572	0.65	1,211,926	7.35	8,179,830	1,962,159	1,273,330	0.79
51	1-2-3-2-3	135,689,014	0.67	1,255,468	6.64	8,241,679	2,137,408	1,328,296	0.73
52	1-2-3-3-1	94,213,584	0.62	894,444	9.57	7,248,332	1,753,637	1,101,087	0.76
53	1-2-3-3-2	100,630,614	0.65	927,279	8.96	7,232,444	1,735,167	1,233,405	0.78
54	1-2-3-3-3	106,972,193	0.65	959,905	8.47	7,234,489	1,757,702	1,257,949	0.79
55	1-3-1-1-1	92,666,294	0.82	931,864	10.31	31,732,439	11,920,045	7,722,642	0.74
56	1-3-1-1-2	95,680,354	0.80	1,043,681	9.83	32,205,556	12,266,458	8,130,813	0.73
57	1-3-1-1-3	93,992,952	0.78	1,152,809	9.56	30,030,167	10,983,670	8,141,179	0.70
58	1-3-1-2-1	67,745,473	0.79	718,048	12.92	18,608,689	8,712,081	5,741,749	0.65
59	1-3-1-2-2	68,419,799	0.80	769,791	13.17	19,099,500	9,079,817	5,775,240	0.68
60	1-3-1-2-3	69,759,690	0.80	838,189	12.79	18,689,981	9,309,528	5,876,017	0.67
61	1-3-1-3-1	55,820,593	0.79	573,833	15.73	13,185,974	6,523,150	3,898,166	0.65
62	1-3-1-3-2	56,025,070	0.79	609,166	15.65	12,897,822	6,602,412	4,008,955	0.65
63	1-3-1-3-3	57,591,492	0.80	648,638	15.40	13,374,435	6,869,658	4,194,950	0.65
64	1-3-2-1-1	79,395,070	0.76	939,326	11.02	24,903,707	9,185,240	6,534,188	0.68
65	1-3-2-1-2	80,758,088	0.76	1,043,012	10.81	24,590,911	9,092,454	6,761,522	0.68
66	1-3-2-1-3	83,188,707	0.76	1,147,055	10.50	24,478,913	8,995,546	6,962,672	0.68
67	1-3-2-2-1	59,322,776	0.79	709,696	14.23	15,212,798	7,438,387	5,245,396	0.62
68	1-3-2-2-2	60,181,803	0.77	775,573	14.14	15,492,572	7,040,524	4,750,354	0.64
69	1-3-2-2-3	61,402,603	0.77	842,160	13.85	15,608,777	6,941,040	4,799,170	0.64
70	1-3-2-3-1	48,556,403	0.77	572,210	17.15	10,283,627	5,499,911	3,369,458	0.60
71	1-3-2-3-2	48,967,766	0.76	608,794	17.03	10,293,004	5,382,757	3,247,851	0.61
72	1-3-2-3-3	49,899,760	0.77	647,218	16.71	10,453,799	5,436,638	3,283,322	0.61
73	1-3-3-1-1	93,948,016	0.74	945,783	9.84	33,009,611	11,887,983	7,614,577	0.74
74	1-3-3-1-2	96,310,828	0.77	1,049,195	9.54	32,218,923	12,470,571	8,529,026	0.72
75	1-3-3-1-3	94,381,001	0.73	1,153,444	9.55	30,545,781	11,436,631	7,931,935	0.72
76	1-3-3-2-1	71,819,557	0.75	724,098	12.28	20,708,963	9,549,725	5,765,438	0.68
77	1-3-3-2-2	72,812,530	0.74	783,447	12.04	20,926,584	9,751,652	6,008,100	0.68
78	1-3-3-2-3	72,478,928	0.74	849,508	12.14	20,906,607	9,501,140	5,956,661	0.69
79	1-3-3-3-1	58,971,459	0.74	579,902	14.90	15,075,848	6,931,669	3,815,530	0.68
80	1-3-3-3-2	59,200,065	0.74	609,081	14.86	14,881,326	6,915,383	3,904,052	0.68
81	1-3-3-3-3	62,106,415	0.74	658,635	14.19	15,345,745	7,224,659	4,155,374	0.68
82	2-1-1-1-1	120,918,820	0.77	673,976	7.72	53,608,764	17,066,690	10,029,778	0.74
83	2-1-1-1-2	119,982,309	0.74	697,781	7.53	52,416,234	16,789,734	9,637,194	0.72
84	2-1-1-1-3	122,261,355	0.77	720,458	7.71	53,207,192	16,899,214	10,704,916	0.75
85	2-1-1-2-1	95,752,196	0.81	947,131	10.04	34,868,750	11,830,636	8,072,785	0.76
86	2-1-1-2-2	93,246,837	0.77	999,453	9.83	31,906,966	11,518,204	7,954,707	0.72
87	2-1-1-2-3	93,967,416	0.79	1,023,347	9.87	32,608,357	11,550,618	8,185,789	0.73
88	2-1-1-3-1	77,964,649	0.80	1,174,657	11.81	20,956,217	9,069,928	5,511,038	0.71
89	2-1-1-3-2	76,971,212	0.81	1,162,815	12.03	20,019,521	9,316,644	5,880,334	0.71
90	2-1-1-3-3	75,739,559	0.79	1,149,475	11.74	19,134,000	8,752,341	5,903,991	0.68
91	2-1-2-1-1	103,565,699	0.76	705,102	8.76	42,097,753	14,064,126	8,808,047	0.72
92	2-1-2-1-2	103,333,898	0.76	736,316	8.77	41,267,224	13,800,064	8,730,676	0.72
93	2-1-2-1-3	104,468,057	0.76	784,994	8.69	41,845,525	13,760,140	8,790,108	0.72
94	2-1-2-2-1	78,320,068	0.74	1,051,678	11.07	24,044,173	8,372,734	5,937,181	0.69
95	2-1-2-2-2	78,053,066	0.75	1,039,242	11.09	23,544,820	8,701,914	6,127,284	0.68

		1	2	3	4	5	6	7	8
No	Tasarım Kodu	TopStokMly	OrtSKO	TopOrtStok	StokDevHz	TopStokMly			OrtSKO
						A	B	C	A
96	2-1-2-2-3	78,232,852	0.75	1,050,763	11.08	23,388,273	8,782,564	6,370,177	0.68
97	2-1-2-3-1	64,339,048	0.76	1,168,988	13.13	14,350,537	6,492,614	4,286,169	0.64
98	2-1-2-3-2	63,948,149	0.76	1,154,058	13.20	14,366,203	6,528,681	4,368,234	0.64
99	2-1-2-3-3	63,984,902	0.77	1,169,325	13.19	14,278,974	6,561,363	4,459,114	0.64
100	2-1-3-1-1	114,995,509	0.74	680,320	7.96	48,586,072	16,158,172	10,002,730	0.74
101	2-1-3-1-2	114,871,630	0.70	688,319	7.80	49,442,538	15,824,130	9,986,962	0.74
102	2-1-3-1-3	113,720,694	0.72	712,338	8.01	47,183,616	16,131,792	9,601,494	0.74
103	2-1-3-2-1	91,702,638	0.77	998,086	10.01	31,302,481	11,718,834	7,621,866	0.74
104	2-1-3-2-2	89,497,290	0.75	1,002,922	10.10	30,071,839	10,880,454	7,743,083	0.72
105	2-1-3-2-3	91,267,946	0.74	1,048,742	9.84	30,360,537	11,351,435	8,144,936	0.72
106	2-1-3-3-1	75,935,706	0.77	1,142,860	11.75	19,489,727	9,492,834	5,406,219	0.70
107	2-1-3-3-2	75,183,556	0.76	1,165,462	11.90	18,905,467	9,064,362	5,527,350	0.70
108	2-1-3-3-3	75,256,800	0.76	1,193,889	11.74	18,634,270	9,029,283	5,861,865	0.69
109	2-2-1-1-1	139,379,484	0.71	1,689,286	6.11	7,949,456	2,465,310	1,646,434	0.68
110	2-2-1-1-2	165,123,388	0.72	1,772,813	5.52	8,891,155	2,624,677	1,572,445	0.74
111	2-2-1-1-3	183,420,214	0.71	1,853,893	5.06	9,463,120	2,529,466	1,585,751	0.79
112	2-2-1-2-1	107,153,856	0.70	1,157,635	8.48	7,004,673	1,999,930	1,344,654	0.77
113	2-2-1-2-2	123,918,728	0.69	1,213,807	7.38	7,455,570	2,044,175	1,366,420	0.79
114	2-2-1-2-3	135,345,165	0.70	1,259,286	6.73	7,480,709	2,206,953	1,372,806	0.74
115	2-2-1-3-1	94,304,283	0.69	902,639	9.56	6,249,929	1,868,208	1,242,852	0.74
116	2-2-1-3-2	100,923,479	0.71	936,330	8.98	6,262,960	1,816,524	1,389,708	0.77
117	2-2-1-3-3	107,582,109	0.71	969,192	8.46	6,292,948	1,841,564	1,423,274	0.78
118	2-2-2-1-1	142,852,184	0.68	1,702,331	5.81	8,200,516	2,412,422	1,594,502	0.67
119	2-2-2-1-2	162,814,891	0.76	1,762,851	5.58	8,759,856	2,549,231	1,801,793	0.74
120	2-2-2-1-3	181,581,918	0.76	1,845,539	5.05	9,395,756	2,681,267	1,852,666	0.74
121	2-2-2-2-1	106,913,564	0.76	1,152,768	8.41	6,701,029	2,070,444	1,582,038	0.73
122	2-2-2-2-2	123,408,081	0.76	1,223,559	7.31	6,975,037	2,120,655	1,590,741	0.73
123	2-2-2-2-3	133,997,276	0.76	1,254,845	6.77	7,180,878	2,153,964	1,595,423	0.74
124	2-2-2-3-1	94,174,399	0.77	902,491	9.51	5,814,062	1,832,278	1,622,731	0.73
125	2-2-2-3-2	100,920,593	0.78	938,556	8.89	5,865,415	1,854,458	1,661,344	0.73
126	2-2-2-3-3	107,588,724	0.78	972,107	8.36	6,013,220	1,862,370	1,649,047	0.73
127	2-2-3-1-1	139,331,639	0.70	1,687,614	6.13	8,782,057	2,391,496	1,526,846	0.70
128	2-2-3-1-2	166,176,188	0.70	1,778,976	5.46	9,700,937	2,435,526	1,439,880	0.75
129	2-2-3-1-3	184,814,398	0.69	1,871,430	4.99	10,218,785	2,347,884	1,470,409	0.80
130	2-2-3-2-1	106,573,556	0.68	1,152,432	8.55	7,657,128	1,883,947	1,238,578	0.79
131	2-2-3-2-2	124,413,528	0.67	1,214,384	7.34	8,131,392	1,920,857	1,254,147	0.80
132	2-2-3-2-3	135,454,646	0.69	1,253,694	6.66	8,236,970	2,120,873	1,303,165	0.74
133	2-2-3-3-1	94,504,708	0.66	895,414	9.53	6,941,341	1,794,177	1,147,720	0.76
134	2-2-3-3-2	100,686,461	0.67	930,602	8.97	7,011,895	1,721,956	1,236,422	0.79
135	2-2-3-3-3	107,160,111	0.67	966,238	8.43	7,055,071	1,741,723	1,271,723	0.79
136	2-3-1-1-1	92,321,994	0.82	936,382	10.37	31,209,938	11,568,274	7,919,423	0.75
137	2-3-1-1-2	97,370,175	0.82	1,044,202	9.81	33,331,698	12,034,165	8,573,706	0.75
138	2-3-1-1-3	97,148,680	0.80	1,151,714	9.52	31,890,629	11,682,084	8,683,403	0.73
139	2-3-1-2-1	66,213,044	0.80	712,571	13.25	17,914,830	8,567,888	5,517,418	0.66
140	2-3-1-2-2	71,822,239	0.79	783,377	12.52	20,333,667	9,135,659	5,945,664	0.69
141	2-3-1-2-3	72,256,098	0.80	844,067	12.48	19,980,719	9,429,682	6,201,683	0.69
142	2-3-1-3-1	55,880,042	0.80	571,496	15.84	13,432,909	6,397,530	3,904,858	0.67
143	2-3-1-3-2	57,338,409	0.79	611,248	15.20	13,602,934	6,635,656	4,089,695	0.66
144	2-3-1-3-3	56,372,850	0.81	645,658	15.68	12,795,653	6,798,986	4,192,487	0.66
145	2-3-2-1-1	78,352,908	0.77	943,410	11.07	23,817,155	8,909,809	6,594,352	0.68

		1	2	3	4	5	6	7	8
No	Tasarım Kodu	TopStokMly	OrtSKO	TopOrtStok	StokDevHz	TopStokMly			OrtSKO
						A	B	C	A
146	2-3-2-1-2	80,043,221	0.77	1,046,780	10.82	23,857,850	8,739,791	6,951,704	0.67
147	2-3-2-1-3	82,249,536	0.77	1,152,800	10.55	23,685,706	8,946,093	6,936,956	0.68
148	2-3-2-2-1	59,695,964	0.79	719,457	14.17	14,988,165	7,068,912	5,112,082	0.63
149	2-3-2-2-2	60,582,141	0.78	782,742	14.05	15,332,735	7,137,405	4,808,022	0.64
150	2-3-2-2-3	61,705,374	0.78	843,498	13.78	15,333,825	7,154,101	5,015,903	0.64
151	2-3-2-3-1	47,828,714	0.78	571,350	17.40	10,101,117	5,396,589	3,299,642	0.62
152	2-3-2-3-2	48,235,698	0.77	609,880	17.27	10,087,284	5,245,857	3,258,429	0.62
153	2-3-2-3-3	48,511,206	0.78	645,948	17.13	9,911,382	5,413,112	3,397,400	0.62
154	2-3-3-1-1	91,006,392	0.78	949,212	10.12	29,739,403	12,016,767	7,632,080	0.73
155	2-3-3-1-2	94,069,890	0.77	1,052,785	9.71	30,367,335	11,684,276	8,316,806	0.73
156	2-3-3-1-3	92,782,560	0.75	1,155,090	9.67	29,194,991	10,830,006	8,025,840	0.72
157	2-3-3-2-1	69,559,706	0.76	722,396	12.52	19,462,618	9,255,133	5,707,598	0.68
158	2-3-3-2-2	69,301,783	0.76	781,303	12.75	18,931,118	9,434,437	5,749,055	0.69
159	2-3-3-2-3	71,576,209	0.77	847,824	12.45	19,590,370	9,123,551	6,079,306	0.69
160	2-3-3-3-1	56,595,548	0.76	569,949	15.51	14,054,017	6,660,049	3,815,110	0.68
161	2-3-3-3-2	58,035,571	0.77	607,366	15.30	14,698,849	7,075,434	3,980,419	0.69
162	2-3-3-3-3	57,953,370	0.75	644,305	15.26	13,951,269	7,096,949	4,226,864	0.69
163	3-1-1-1-1	131,067,839	0.76	690,222	7.16	59,036,014	19,042,981	11,417,710	0.75
164	3-1-1-1-2	129,614,940	0.77	715,712	7.20	57,388,728	18,957,256	11,590,823	0.75
165	3-1-1-1-3	139,271,237	0.72	725,266	6.60	65,095,126	19,559,670	12,116,724	0.74
166	3-1-1-2-1	99,297,811	0.76	1,022,407	9.22	36,615,038	12,054,117	7,801,113	0.74
167	3-1-1-2-2	104,331,734	0.76	1,003,840	8.87	40,318,768	13,233,369	8,314,647	0.75
168	3-1-1-2-3	106,757,838	0.78	1,048,901	8.81	40,499,637	13,821,933	9,393,597	0.75
169	3-1-1-3-1	82,744,742	0.77	1,163,994	10.96	23,983,202	9,513,594	5,512,189	0.72
170	3-1-1-3-2	80,717,704	0.82	1,176,221	11.51	22,184,999	9,638,654	5,952,477	0.73
171	3-1-1-3-3	80,950,575	0.77	1,190,376	10.96	22,689,772	9,330,841	6,015,506	0.70
172	3-1-2-1-1	104,975,054	0.77	746,379	8.65	41,937,604	14,033,042	9,163,854	0.74
173	3-1-2-1-2	105,320,071	0.77	775,549	8.58	41,881,631	13,970,492	9,066,730	0.73
174	3-1-2-1-3	106,681,596	0.77	806,322	8.51	42,673,687	13,758,692	8,988,513	0.73
175	3-1-2-2-1	79,466,118	0.76	1,085,612	10.90	24,297,078	8,538,762	6,152,946	0.70
176	3-1-2-2-2	80,260,568	0.77	1,086,907	10.81	24,257,692	9,060,387	6,426,225	0.69
177	3-1-2-2-3	80,387,113	0.77	1,099,091	10.77	23,994,877	8,979,912	6,530,930	0.69
178	3-1-2-3-1	65,782,729	0.77	1,202,292	12.82	14,862,594	6,850,333	4,546,870	0.66
179	3-1-2-3-2	65,602,807	0.78	1,198,355	12.87	14,607,402	6,859,474	4,593,471	0.66
180	3-1-2-3-3	65,487,824	0.78	1,187,352	12.91	14,519,599	6,753,789	4,674,365	0.66
181	3-1-3-1-1	119,273,391	0.74	705,293	7.65	51,210,181	16,469,486	10,485,956	0.75
182	3-1-3-1-2	118,764,000	0.75	717,617	7.73	49,304,230	17,471,182	11,006,019	0.74
183	3-1-3-1-3	117,713,269	0.73	738,426	7.61	47,247,677	17,438,339	10,662,028	0.73
184	3-1-3-2-1	93,905,508	0.78	1,023,132	9.82	32,395,794	11,514,532	7,813,366	0.75
185	3-1-3-2-2	91,578,846	0.78	1,030,193	9.98	30,606,811	11,690,442	7,803,399	0.73
186	3-1-3-2-3	88,828,310	0.75	1,052,709	9.95	28,506,927	10,614,158	7,703,628	0.72
187	3-1-3-3-1	76,531,245	0.78	1,202,569	11.59	19,255,051	9,255,881	5,483,347	0.71
188	3-1-3-3-2	76,192,666	0.78	1,210,472	11.63	18,848,584	9,308,551	5,813,069	0.70
189	3-1-3-3-3	74,766,305	0.75	1,198,027	11.70	18,575,958	8,906,968	5,586,065	0.70
190	3-2-1-1-1	143,627,869	0.73	1,699,981	5.88	8,129,039	2,543,933	1,637,565	0.70
191	3-2-1-1-2	167,404,799	0.75	1,777,458	5.43	9,177,975	2,746,265	1,655,133	0.75
192	3-2-1-1-3	185,254,545	0.73	1,854,518	5.00	9,826,144	2,672,533	1,695,720	0.80
193	3-2-1-2-1	103,623,531	0.76	1,155,643	8.71	7,189,832	2,157,125	1,521,136	0.78
194	3-2-1-2-2	125,261,354	0.72	1,222,359	7.29	7,931,244	2,193,688	1,440,114	0.80
195	3-2-1-2-3	135,718,045	0.74	1,255,047	6.70	7,899,885	2,376,939	1,512,991	0.76

		1	2	3	4	5	6	7	8
No	Tasarım Kodu	TopStokMly	OrtSKO	TopOrtStok	StokDevHz	TopStokMly			OrtSKO
						A	B	C	A
196	3-2-1-3-1	95,588,172	0.74	904,247	9.40	6,575,800	2,021,379	1,411,833	0.76
197	3-2-1-3-2	102,209,308	0.75	936,312	8.83	6,712,619	1,979,988	1,508,211	0.79
198	3-2-1-3-3	108,753,032	0.75	971,637	8.33	6,837,231	2,010,456	1,526,587	0.79
199	3-2-2-1-1	144,037,950	0.70	1,703,604	5.74	8,437,961	2,522,243	1,629,502	0.69
200	3-2-2-1-2	166,529,513	0.78	1,769,331	5.45	9,200,769	2,715,015	1,851,879	0.76
201	3-2-2-1-3	184,757,100	0.78	1,854,453	4.96	9,772,550	2,824,364	1,899,951	0.77
202	3-2-2-2-1	107,319,119	0.79	1,154,404	8.37	7,218,904	2,209,829	1,664,839	0.76
203	3-2-2-2-2	124,042,540	0.79	1,222,527	7.27	7,450,349	2,267,149	1,689,278	0.76
204	3-2-2-2-3	135,317,290	0.79	1,256,743	6.69	7,679,937	2,321,985	1,720,062	0.76
205	3-2-2-3-1	95,655,042	0.80	904,820	9.34	6,301,672	2,011,644	1,699,393	0.76
206	3-2-2-3-2	102,280,390	0.81	941,229	8.73	6,364,741	2,038,938	1,748,657	0.75
207	3-2-2-3-3	108,949,955	0.81	974,183	8.21	6,594,039	2,078,538	1,760,768	0.76
208	3-2-3-1-1	139,003,307	0.72	1,689,362	6.17	8,885,404	2,480,005	1,548,199	0.72
209	3-2-3-1-2	168,318,190	0.73	1,775,015	5.39	9,919,485	2,594,148	1,533,525	0.76
210	3-2-3-1-3	185,901,907	0.72	1,864,135	4.95	10,568,653	2,536,766	1,560,782	0.80
211	3-2-3-2-1	107,917,335	0.73	1,155,498	8.42	7,896,030	2,055,992	1,368,597	0.80
212	3-2-3-2-2	124,432,537	0.71	1,221,406	7.32	8,415,335	2,066,115	1,362,807	0.81
213	3-2-3-2-3	136,721,445	0.72	1,261,797	6.60	8,551,416	2,270,992	1,398,873	0.76
214	3-2-3-3-1	95,327,802	0.71	900,729	9.43	7,056,217	1,954,288	1,284,066	0.77
215	3-2-3-3-2	102,348,051	0.72	935,197	8.80	7,227,403	1,897,299	1,366,653	0.80
216	3-2-3-3-3	108,729,442	0.73	968,537	8.29	7,325,904	1,924,551	1,412,439	0.80
217	3-3-1-1-1	100,372,939	0.81	953,493	9.52	35,848,696	13,175,957	8,214,057	0.76
218	3-3-1-1-2	99,342,263	0.83	1,052,318	9.62	34,056,147	12,293,200	8,951,778	0.76
219	3-3-1-1-3	104,876,546	0.79	1,159,351	8.85	36,973,499	12,654,338	8,928,779	0.74
220	3-3-1-2-1	69,371,332	0.81	717,303	12.82	19,123,154	9,023,965	5,778,292	0.69
221	3-3-1-2-2	73,245,766	0.81	782,701	12.38	20,932,237	9,673,131	6,145,803	0.71
222	3-3-1-2-3	75,830,658	0.79	852,388	11.74	21,828,877	9,711,445	6,358,857	0.69
223	3-3-1-3-1	55,867,530	0.81	573,831	15.64	13,144,124	6,634,429	3,954,101	0.68
224	3-3-1-3-2	59,928,710	0.80	611,931	14.80	14,905,553	7,070,942	4,225,715	0.69
225	3-3-1-3-3	58,469,399	0.82	647,147	15.26	13,783,623	7,206,084	4,383,737	0.69
226	3-3-2-1-1	79,273,230	0.78	946,769	10.89	24,032,211	9,310,061	6,855,681	0.68
227	3-3-2-1-2	81,524,135	0.78	1,050,693	10.60	24,150,261	9,027,354	7,128,419	0.68
228	3-3-2-1-3	83,234,637	0.78	1,155,603	10.39	23,885,476	9,086,240	7,127,865	0.68
229	3-3-2-2-1	60,802,855	0.81	717,461	13.94	15,443,642	7,503,063	5,444,206	0.65
230	3-3-2-2-2	61,982,360	0.80	784,252	13.73	15,695,954	7,413,792	5,193,594	0.66
231	3-3-2-2-3	62,731,708	0.80	846,889	13.54	15,649,331	7,441,300	5,278,324	0.66
232	3-3-2-3-1	48,515,653	0.79	568,794	17.16	10,330,294	5,746,712	3,570,788	0.64
233	3-3-2-3-2	48,830,151	0.79	605,304	17.05	10,431,653	5,623,515	3,490,664	0.64
234	3-3-2-3-3	49,793,403	0.79	646,673	16.68	10,278,616	5,707,032	3,514,990	0.64
235	3-3-3-1-1	91,441,865	0.78	952,103	9.85	30,058,969	12,034,986	7,853,272	0.72
236	3-3-3-1-2	95,560,473	0.79	1,053,999	9.64	31,363,028	11,839,293	8,937,470	0.74
237	3-3-3-1-3	97,729,278	0.76	1,163,776	9.29	31,612,280	11,961,318	8,356,944	0.74
238	3-3-3-2-1	71,068,212	0.79	724,915	12.46	19,462,674	9,571,241	6,054,988	0.70
239	3-3-3-2-2	73,727,644	0.78	789,969	12.13	20,744,102	9,644,577	6,197,690	0.71
240	3-3-3-2-3	74,070,295	0.77	854,066	11.88	20,445,936	9,801,546	6,350,185	0.70
241	3-3-3-3-1	58,890,943	0.78	571,322	15.02	14,424,571	7,201,174	4,114,855	0.70
242	3-3-3-3-2	58,476,191	0.78	609,641	15.30	14,824,326	7,302,711	4,062,423	0.71
243	3-3-3-3-3	59,803,742	0.76	649,279	14.61	14,462,241	7,334,678	4,269,836	0.70

		9	10	11	12	13	14	15	16
No	Tasarım Kodu	OrtSKO		TopOrtStok			StokDevHz		
		B	C	A	B	C	A	B	C
1	1-1-1-1-1	0.75	0.80	19,925	6996.00	3,923	12.74	13	11.41
2	1-1-1-1-2	0.72	0.80	20,059	6847.00	4,103	12.61	12	10.88
3	1-1-1-1-3	0.71	0.77	20,614	6870.00	4,138	12.10	12	10.54
4	1-1-1-2-1	0.72	0.83	12,004	4421.00	2,981	20.80	19	15.59
5	1-1-1-2-2	0.77	0.84	14,117	5234.00	3,235	18.43	18	14.60
6	1-1-1-2-3	0.74	0.81	14,696	5200.00	3,556	18.08	17	12.87
7	1-1-1-3-1	0.80	0.88	7,458	3580.00	2,204	32.16	26	22.53
8	1-1-1-3-2	0.79	0.87	7,833	3807.00	2,362	29.99	24	20.55
9	1-1-1-3-3	0.78	0.86	7,770	3766.00	2,342	30.58	24	20.58
10	1-1-2-1-1	0.73	0.79	17,085	6002.00	3,515	14.63	14	12.46
11	1-1-2-1-2	0.73	0.78	17,385	6016.00	3,518	14.42	15	12.41
12	1-1-2-1-3	0.73	0.78	17,239	6042.00	3,488	14.47	14	12.49
13	1-1-2-2-1	0.69	0.81	10,175	3634.00	2,453	23.33	22	18.55
14	1-1-2-2-2	0.71	0.81	9,956	3785.00	2,531	23.58	22	17.84
15	1-1-2-2-3	0.71	0.83	9,939	3781.00	2,586	23.55	22	17.88
16	1-1-2-3-1	0.74	0.84	6,166	2999.00	1,895	35.32	29	24.94
17	1-1-2-3-2	0.75	0.84	6,104	3001.00	1,888	35.57	29	25.09
18	1-1-2-3-3	0.75	0.85	6,128	3011.00	1,911	35.43	29	24.85
19	1-1-3-1-1	0.71	0.72	21,611	7253.00	4,099	12.15	12	9.95
20	1-1-3-1-2	0.70	0.74	21,118	7242.00	4,197	12.14	12	9.88
21	1-1-3-1-3	0.69	0.69	21,099	6961.00	4,191	12.13	12	9.17
22	1-1-3-2-1	0.72	0.80	13,811	4929.00	3,230	18.63	17	13.89
23	1-1-3-2-2	0.72	0.75	13,135	5259.00	3,198	18.94	16	13.16
24	1-1-3-2-3	0.70	0.75	12,741	4833.00	3,242	19.72	17	12.90
25	1-1-3-3-1	0.76	0.79	8,062	3804.00	2,187	29.62	23	20.22
26	1-1-3-3-2	0.74	0.78	8,210	3746.00	2,229	29.10	23	19.77
27	1-1-3-3-3	0.74	0.78	8,145	3893.00	2,390	29.32	22	18.51
28	1-2-1-1-1	0.69	0.72	3,385	1105.00	700	65.93	73	56.76
29	1-2-1-1-2	0.68	0.66	3,589	1097.00	644	71.85	75	56.29
30	1-2-1-1-3	0.66	0.66	3,997	1115.00	679	66.99	68	53.33
31	1-2-1-2-1	0.66	0.65	2,677	831.00	556	97.19	91	63.33
32	1-2-1-2-2	0.66	0.63	3,071	874.00	571	85.83	87	59.83
33	1-2-1-2-3	0.72	0.66	3,059	970.00	590	82.57	89	60.68
34	1-2-1-3-1	0.67	0.63	2,599	806.00	529	99.32	98	64.38
35	1-2-1-3-2	0.67	0.70	2,603	794.00	592	99.97	96	64.16
36	1-2-1-3-3	0.66	0.67	2,554	791.00	583	103.26	95	62.65
37	1-2-2-1-1	0.67	0.72	3,495	1061.00	685	66.33	74	58.25
38	1-2-2-1-2	0.69	0.79	3,515	1061.00	734	71.94	76	59.60
39	1-2-2-1-3	0.71	0.78	3,933	1158.00	762	64.86	71	56.91
40	1-2-2-2-1	0.69	0.77	2,593	877.00	638	95.85	91	66.78
41	1-2-2-2-2	0.71	0.78	2,919	927.00	658	84.72	89	65.97
42	1-2-2-2-3	0.72	0.79	2,940	942.00	666	85.05	88	65.20
43	1-2-2-3-1	0.68	0.84	2,345	763.00	667	105.59	101	69.75
44	1-2-2-3-2	0.70	0.86	2,424	780.00	683	101.65	101	69.93
45	1-2-2-3-3	0.70	0.84	2,431	784.00	673	102.37	100	69.65
46	1-2-3-1-1	0.65	0.66	3,734	1062.00	621	59.62	71	58.35
47	1-2-3-1-2	0.67	0.64	3,927	1036.00	596	66.40	77	58.58
48	1-2-3-1-3	0.64	0.63	4,403	1032.00	611	61.61	71	55.78
49	1-2-3-2-1	0.62	0.61	2,986	794.00	519	89.82	89	63.82
50	1-2-3-2-2	0.63	0.60	3,318	836.00	530	81.29	85	61.41

		9	10	11	12	13	14	15	16
No	Tasarım Kodu	OrtSKO		TopOrtStok			StokDevHz		
		B	C	A	B	C	A	B	C
51	1-2-3-2-3	0.69	0.64	3,352	930.00	560	76.27	88	61.74
52	1-2-3-3-1	0.62	0.55	2,932	751.00	465	90.48	98	63.91
53	1-2-3-3-2	0.61	0.61	2,942	738.00	513	90.70	94	64.41
54	1-2-3-3-3	0.61	0.61	2,926	750.00	523	91.39	92	63.41
55	1-3-1-1-1	0.79	0.88	13,000	5146.00	3,227	19.66	18	15.21
56	1-3-1-1-2	0.78	0.86	13,196	5273.00	3,397	19.11	17	14.31
57	1-3-1-1-3	0.73	0.85	12,314	4773.00	3,407	19.61	18	14.08
58	1-3-1-2-1	0.78	0.87	7,618	3733.00	2,396	29.56	24	20.37
59	1-3-1-2-2	0.80	0.87	7,823	3892.00	2,414	29.91	24	20.28
60	1-3-1-2-3	0.79	0.87	7,658	4002.00	2,460	29.99	23	19.95
61	1-3-1-3-1	0.80	0.86	5,401	2797.00	1,626	41.41	33	29.63
62	1-3-1-3-2	0.80	0.86	5,284	2838.00	1,671	42.35	33	28.65
63	1-3-1-3-3	0.82	0.87	5,475	2948.00	1,749	41.10	32	28.03
64	1-3-2-1-1	0.72	0.84	10,205	3983.00	2,722	22.84	21	17.16
65	1-3-2-1-2	0.71	0.86	10,087	3936.00	2,818	23.05	21	16.94
66	1-3-2-1-3	0.71	0.85	10,033	3904.00	2,895	23.17	21	16.42
67	1-3-2-2-1	0.77	0.90	6,237	3194.00	2,192	33.99	28	23.03
68	1-3-2-2-2	0.75	0.86	6,349	3023.00	1,985	34.41	29	24.18
69	1-3-2-2-3	0.75	0.86	6,398	2988.00	2,010	34.15	29	23.95
70	1-3-2-3-1	0.78	0.85	4,216	2345.00	1,407	49.28	38	33.93
71	1-3-2-3-2	0.77	0.84	4,219	2306.00	1,354	49.69	39	34.48
72	1-3-2-3-3	0.78	0.84	4,285	2340.00	1,367	48.88	39	34.22
73	1-3-3-1-1	0.72	0.77	13,546	5075.00	3,170	18.92	17	13.65
74	1-3-3-1-2	0.75	0.81	13,157	5373.00	3,551	18.87	16	12.68
75	1-3-3-1-3	0.70	0.77	12,486	4917.00	3,310	19.87	17	12.98
76	1-3-3-2-1	0.74	0.80	8,480	4058.00	2,407	27.60	21	18.68
77	1-3-3-2-2	0.73	0.77	8,550	4121.00	2,509	27.40	21	17.17
78	1-3-3-2-3	0.72	0.77	8,545	4005.00	2,476	27.65	21	17.65
79	1-3-3-3-1	0.74	0.76	6,151	2944.00	1,593	37.96	29	26.81
80	1-3-3-3-2	0.73	0.77	6,074	2928.00	1,628	38.57	29	26.39
81	1-3-3-3-3	0.73	0.77	6,270	3016.00	1,726	37.58	28	24.67
82	2-1-1-1-1	0.75	0.80	21,885	7317.00	4,174	11.62	12	10.78
83	2-1-1-1-2	0.71	0.76	21,365	7222.00	4,023	11.62	12	10.78
84	2-1-1-1-3	0.75	0.81	21,783	7251.00	4,446	12.00	12	10.21
85	2-1-1-2-1	0.77	0.86	14,255	5065.00	3,351	18.31	18	14.42
86	2-1-1-2-2	0.74	0.83	13,039	4924.00	3,300	19.08	18	14.02
87	2-1-1-2-3	0.75	0.85	13,289	4967.00	3,414	19.02	18	13.90
88	2-1-1-3-1	0.79	0.86	8,574	3897.00	2,304	28.41	24	20.98
89	2-1-1-3-2	0.81	0.87	8,189	3990.00	2,458	29.67	24	19.93
90	2-1-1-3-3	0.77	0.86	7,842	3746.00	2,461	30.13	24	19.45
91	2-1-2-1-1	0.74	0.80	17,226	6101.00	3,682	14.28	14	12.07
92	2-1-2-1-2	0.74	0.79	16,909	5980.00	3,655	14.53	15	12.13
93	2-1-2-1-3	0.73	0.80	17,107	5966.00	3,676	14.41	14	12.10
94	2-1-2-2-1	0.69	0.81	9,856	3621.00	2,484	23.87	22	18.11
95	2-1-2-2-2	0.72	0.81	9,649	3764.00	2,557	23.93	22	17.74
96	2-1-2-2-3	0.72	0.82	9,588	3794.00	2,656	24.13	22	17.16
97	2-1-2-3-1	0.75	0.84	5,882	2785.00	1,796	37.12	31	26.07
98	2-1-2-3-2	0.75	0.84	5,888	2808.00	1,824	36.97	31	25.48
99	2-1-2-3-3	0.75	0.84	5,854	2817.00	1,865	37.14	31	25.12
100	2-1-3-1-1	0.73	0.75	19,962	6991.00	4,175	12.67	12	10.10

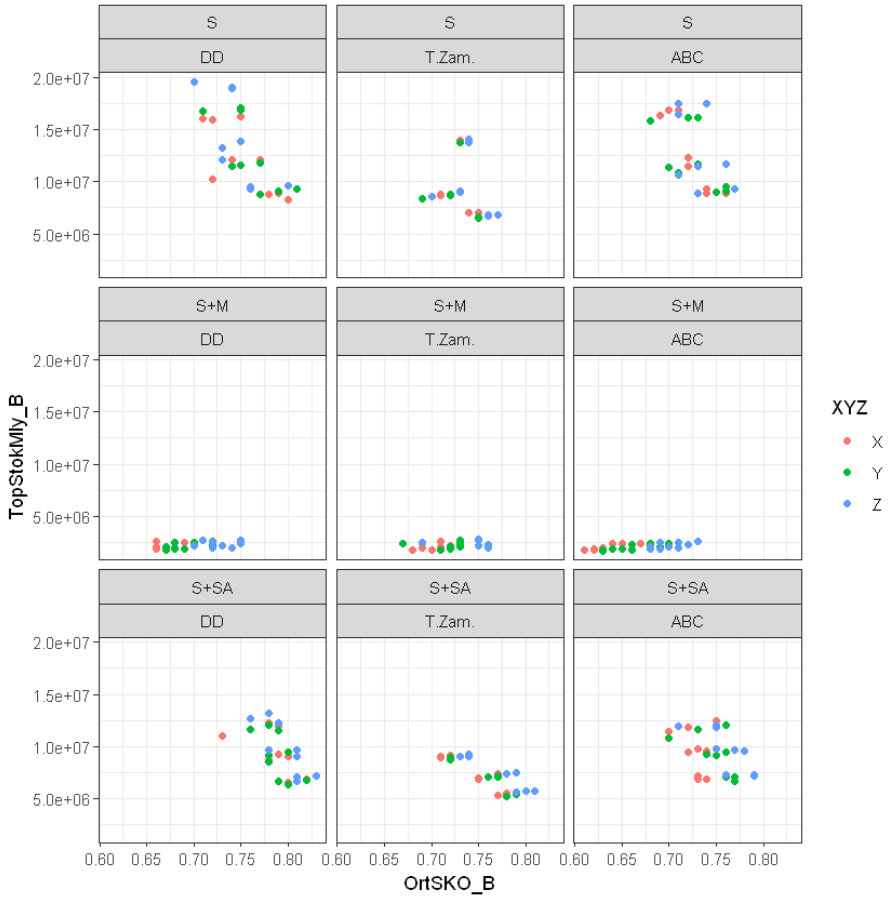
		9	10	11	12	13	14	15	16
No	Tasarım Kodu	OrtSKO		TopOrtStok			StokDevHz		
		B	C	A	B	C	A	B	C
101	2-1-3-1-2	0.68	0.71	20,295	6821.00	4,166	12.45	12	9.50
102	2-1-3-1-3	0.72	0.71	19,308	6966.00	4,000	13.12	12	9.94
103	2-1-3-2-1	0.73	0.80	12,835	5085.00	3,192	19.58	17	14.08
104	2-1-3-2-2	0.71	0.79	12,349	4651.00	3,206	20.13	18	13.66
105	2-1-3-2-3	0.70	0.78	12,478	4851.00	3,400	19.86	17	12.84
106	2-1-3-3-1	0.76	0.80	7,973	4029.00	2,261	29.71	22	19.91
107	2-1-3-3-2	0.76	0.80	7,733	3843.00	2,308	30.72	23	19.55
108	2-1-3-3-3	0.75	0.80	7,621	3786.00	2,436	30.70	23	18.29
109	2-2-1-1-1	0.70	0.74	3,245	1079.00	689	71.19	75	59.02
110	2-2-1-1-2	0.72	0.70	3,612	1140.00	662	70.01	75	57.49
111	2-2-1-1-3	0.68	0.68	3,837	1081.00	659	69.58	71	55.63
112	2-2-1-2-1	0.68	0.67	2,838	852.00	560	91.03	91	64.55
113	2-2-1-2-2	0.67	0.65	3,022	866.00	568	87.20	87	61.53
114	2-2-1-2-3	0.72	0.66	3,037	957.00	580	83.81	89	61.88
115	2-2-1-3-1	0.69	0.65	2,526	800.00	526	100.72	100	66.52
116	2-2-1-3-2	0.67	0.70	2,548	771.00	579	101.58	98	65.19
117	2-2-1-3-3	0.68	0.70	2,548	784.00	592	101.90	96	64.36
118	2-2-2-1-1	0.67	0.70	3,350	1057.00	666	68.14	73	58.18
119	2-2-2-1-2	0.73	0.81	3,571	1115.00	750	69.79	75	58.88
120	2-2-2-1-3	0.73	0.79	3,833	1174.00	772	66.01	71	56.34
121	2-2-2-2-1	0.72	0.80	2,736	904.00	659	89.99	91	66.32
122	2-2-2-2-2	0.73	0.80	2,847	926.00	661	87.04	89	66.16
123	2-2-2-2-3	0.73	0.80	2,931	941.00	663	85.53	87	65.35
124	2-2-2-3-1	0.71	0.85	2,370	796.00	677	103.14	100	68.56
125	2-2-2-3-2	0.72	0.86	2,393	807.00	692	102.09	98	68.44
126	2-2-2-3-3	0.72	0.85	2,454	811.00	687	100.40	98	68.08
127	2-2-3-1-1	0.68	0.71	3,586	1050.00	639	66.09	75	61.00
128	2-2-3-1-2	0.70	0.68	3,943	1061.00	606	65.01	78	60.57
129	2-2-3-1-3	0.66	0.66	4,144	1003.00	611	64.89	74	57.99
130	2-2-3-2-1	0.65	0.64	3,101	803.00	516	85.47	91	66.09
131	2-2-3-2-2	0.64	0.62	3,296	816.00	521	81.40	88	63.56
132	2-2-3-2-3	0.69	0.65	3,350	923.00	550	76.39	89	63.90
133	2-2-3-3-1	0.66	0.61	2,808	769.00	485	92.68	99	66.94
134	2-2-3-3-2	0.63	0.63	2,848	731.00	515	93.31	96	65.98
135	2-2-3-3-3	0.63	0.64	2,855	741.00	528	92.89	94	65.23
136	2-3-1-1-1	0.79	0.88	12,773	4996.00	3,305	20.08	19	14.97
137	2-3-1-1-2	0.78	0.89	13,629	5166.00	3,581	18.82	18	13.91
138	2-3-1-1-3	0.76	0.86	12,978	4981.00	3,597	18.99	18	13.37
139	2-3-1-2-1	0.78	0.88	7,335	3644.00	2,304	30.74	24	21.36
140	2-3-1-2-2	0.78	0.86	8,306	3907.00	2,471	28.32	23	19.39
141	2-3-1-2-3	0.80	0.87	8,173	4072.00	2,598	28.78	23	18.81
142	2-3-1-3-1	0.80	0.86	5,514	2753.00	1,632	41.33	34	29.43
143	2-3-1-3-2	0.79	0.85	5,576	2837.00	1,705	40.10	32	27.86
144	2-3-1-3-3	0.82	0.87	5,251	2915.00	1,746	42.67	33	27.95
145	2-3-2-1-1	0.72	0.85	9,773	3865.00	2,750	23.55	22	17.30
146	2-3-2-1-2	0.72	0.86	9,777	3788.00	2,899	23.43	22	16.56
147	2-3-2-1-3	0.72	0.86	9,715	3878.00	2,894	23.65	22	16.59
148	2-3-2-2-1	0.77	0.90	6,145	3031.00	2,134	34.89	29	23.40
149	2-3-2-2-2	0.76	0.86	6,281	3055.00	2,009	34.68	29	23.96
150	2-3-2-2-3	0.77	0.87	6,283	3063.00	2,094	34.60	29	23.02

		9	10	11	12	13	14	15	16
No	Tasarım Kodu	OrtSKO		TopOrtStok			StokDevHz		
		B	C	A	B	C	A	B	C
151	2-3-2-3-1	0.79	0.85	4,141	2306.00	1,377	50.25	39	34.35
152	2-3-2-3-2	0.78	0.84	4,133	2244.00	1,357	50.54	40	34.38
153	2-3-2-3-3	0.79	0.85	4,063	2305.00	1,414	50.94	39	33.30
154	2-3-3-1-1	0.76	0.82	12,178	5132.00	3,173	20.41	17	14.49
155	2-3-3-1-2	0.73	0.82	12,406	4949.00	3,452	20.05	17	13.18
156	2-3-3-1-3	0.70	0.81	11,914	4610.00	3,343	20.52	18	13.45
157	2-3-3-2-1	0.74	0.81	7,970	3926.00	2,378	28.90	22	19.17
158	2-3-3-2-2	0.76	0.81	7,737	4019.00	2,410	30.15	22	18.76
159	2-3-3-2-3	0.75	0.82	8,034	3852.00	2,528	29.56	22	18.15
160	2-3-3-3-1	0.77	0.80	5,755	2844.00	1,597	39.96	31	27.99
161	2-3-3-3-2	0.77	0.81	6,008	3002.00	1,658	38.78	30	27.14
162	2-3-3-3-3	0.76	0.78	5,713	2970.00	1,755	40.95	29	24.91
163	3-1-1-1-1	0.74	0.79	24,118	8168.00	4,735	10.70	11	9.40
164	3-1-1-1-2	0.74	0.79	23,374	8083.00	4,813	10.95	11	9.30
165	3-1-1-1-3	0.70	0.73	26,475	8225.00	5,002	9.84	10	8.24
166	3-1-1-2-1	0.73	0.80	14,954	5151.00	3,239	16.76	16	13.92
167	3-1-1-2-2	0.73	0.79	16,456	5617.00	3,451	15.40	15	12.96
168	3-1-1-2-3	0.75	0.82	16,536	5903.00	3,896	15.75	15	11.84
169	3-1-1-3-1	0.76	0.80	9,788	4074.00	2,296	24.94	22	19.51
170	3-1-1-3-2	0.80	0.87	9,080	4116.00	2,484	27.28	22	19.61
171	3-1-1-3-3	0.76	0.82	9,274	3986.00	2,512	25.63	22	18.31
172	3-1-2-1-1	0.74	0.80	17,197	6091.00	3,835	14.37	14	11.59
173	3-1-2-1-2	0.74	0.80	17,194	6058.00	3,795	14.29	14	11.73
174	3-1-2-1-3	0.74	0.81	17,456	5956.00	3,746	14.12	15	11.86
175	3-1-2-2-1	0.70	0.82	9,960	3692.00	2,568	23.53	22	17.74
176	3-1-2-2-2	0.73	0.83	9,961	3910.00	2,682	23.21	22	17.07
177	3-1-2-2-3	0.73	0.84	9,853	3875.00	2,725	23.41	22	16.92
178	3-1-2-3-1	0.76	0.85	6,087	2927.00	1,904	35.79	29	24.71
179	3-1-2-3-2	0.77	0.85	5,989	2942.00	1,922	36.32	29	24.49
180	3-1-2-3-3	0.76	0.85	5,949	2895.00	1,952	36.68	30	24.04
181	3-1-3-1-1	0.71	0.76	21,002	7100.00	4,364	12.04	12	9.71
182	3-1-3-1-2	0.74	0.77	20,182	7534.00	4,584	12.48	12	9.35
183	3-1-3-1-3	0.71	0.73	19,368	7460.00	4,433	12.86	11	9.09
184	3-1-3-2-1	0.73	0.82	13,322	4936.00	3,249	19.03	17	14.07
185	3-1-3-2-2	0.76	0.82	12,523	4990.00	3,252	19.69	17	14.02
186	3-1-3-2-3	0.71	0.79	11,658	4536.00	3,203	20.69	18	13.61
187	3-1-3-3-1	0.77	0.82	7,898	3950.00	2,287	29.82	22	19.91
188	3-1-3-3-2	0.77	0.82	7,719	3940.00	2,424	30.36	22	19.01
189	3-1-3-3-3	0.73	0.79	7,584	3760.00	2,332	30.90	22	18.88
190	3-2-1-1-1	0.72	0.75	3,315	1111.00	685	69.11	73	58.33
191	3-2-1-1-2	0.75	0.74	3,732	1196.00	696	67.16	72	57.02
192	3-2-1-1-3	0.71	0.72	3,986	1144.00	705	66.30	68	54.40
193	3-2-1-2-1	0.73	0.76	2,922	927.00	635	86.05	86	63.42
194	3-2-1-2-2	0.70	0.68	3,216	931.00	599	81.20	83	60.45
195	3-2-1-2-3	0.75	0.72	3,210	1032.00	637	78.44	83	60.55
196	3-2-1-3-1	0.74	0.74	2,663	869.00	595	93.30	94	65.16
197	3-2-1-3-2	0.72	0.75	2,729	842.00	628	93.03	91	63.60
198	3-2-1-3-3	0.72	0.75	2,770	857.00	635	91.94	89	62.93
199	3-2-2-1-1	0.69	0.72	3,446	1104.00	681	65.74	70	56.99
200	3-2-2-1-2	0.75	0.82	3,753	1187.00	772	66.25	70	57.04

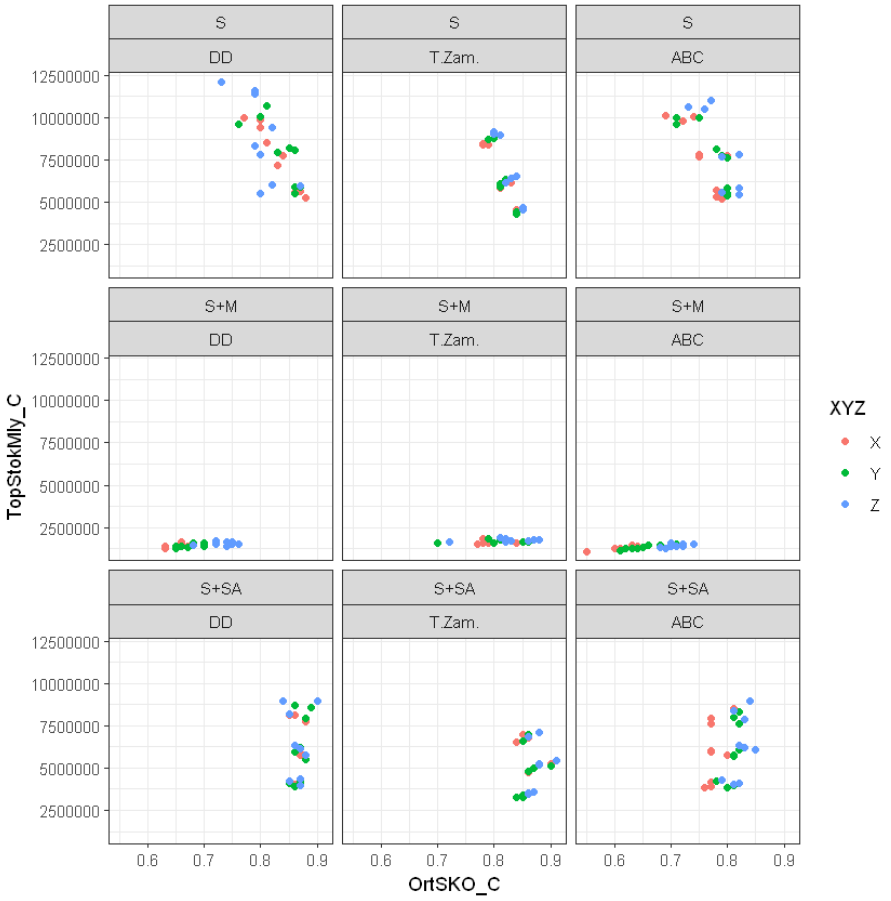
		9	10	11	12	13	14	15	16
No	Tasarım Kodu	OrtSKO		TopOrtStok			StokDevHz		
		B	C	A	B	C	A	B	C
201	3-2-2-1-3	0.75	0.81	3,988	1234.00	791	63.54	68	55.16
202	3-2-2-2-1	0.75	0.82	2,948	964.00	694	83.42	85	63.58
203	3-2-2-2-2	0.76	0.83	3,040	990.00	703	81.24	83	62.86
204	3-2-2-2-3	0.76	0.83	3,134	1015.00	716	79.17	82	62.26
205	3-2-2-3-1	0.76	0.86	2,570	874.00	709	94.18	93	65.50
206	3-2-2-3-2	0.76	0.88	2,595	887.00	728	93.02	91	64.86
207	3-2-2-3-3	0.76	0.87	2,688	905.00	734	90.18	89	64.37
208	3-2-3-1-1	0.71	0.74	3,626	1087.00	648	65.37	73	60.71
209	3-2-3-1-2	0.73	0.72	4,029	1132.00	644	62.98	74	59.35
210	3-2-3-1-3	0.69	0.70	4,291	1087.00	649	61.73	70	57.48
211	3-2-3-2-1	0.70	0.71	3,206	883.00	570	81.01	85	64.62
212	3-2-3-2-2	0.68	0.68	3,417	881.00	567	77.18	83	63.04
213	3-2-3-2-3	0.72	0.70	3,480	988.00	589	73.28	82	62.43
214	3-2-3-3-1	0.71	0.69	2,858	842.00	541	89.45	92	65.83
215	3-2-3-3-2	0.68	0.71	2,938	808.00	570	88.48	90	65.08
216	3-2-3-3-3	0.69	0.72	2,968	822.00	588	87.18	88	64.17
217	3-3-1-1-1	0.78	0.85	14,686	5653.00	3,421	17.71	16	13.93
218	3-3-1-1-2	0.79	0.90	13,949	5274.00	3,715	18.30	17	13.63
219	3-3-1-1-3	0.76	0.84	15,074	5377.00	3,709	16.63	16	12.65
220	3-3-1-2-1	0.81	0.88	7,819	3865.00	2,418	29.28	24	20.36
221	3-3-1-2-2	0.81	0.87	8,558	4132.00	2,562	27.56	22	19.01
222	3-3-1-2-3	0.78	0.86	8,907	4130.00	2,643	26.20	21	18.06
223	3-3-1-3-1	0.81	0.87	5,377	2843.00	1,651	41.39	33	29.07
224	3-3-1-3-2	0.81	0.85	6,071	3023.00	1,757	37.86	31	26.96
225	3-3-1-3-3	0.83	0.87	5,647	3113.00	1,831	40.49	31	26.54
226	3-3-2-1-1	0.74	0.86	9,848	4015.00	2,855	23.10	21	16.66
227	3-3-2-1-2	0.73	0.88	9,885	3899.00	2,969	22.99	21	16.37
228	3-3-2-1-3	0.74	0.88	9,793	3937.00	2,970	23.23	21	16.29
229	3-3-2-2-1	0.79	0.91	6,338	3215.00	2,275	33.79	28	22.08
230	3-3-2-2-2	0.78	0.88	6,433	3169.00	2,165	33.73	28	22.46
231	3-3-2-2-3	0.78	0.88	6,411	3198.00	2,205	33.68	28	22.09
232	3-3-2-3-1	0.81	0.87	4,236	2453.00	1,491	48.79	37	31.97
233	3-3-2-3-2	0.79	0.86	4,279	2400.00	1,454	48.79	38	32.31
234	3-3-2-3-3	0.80	0.86	4,210	2429.00	1,462	49.26	37	32.17
235	3-3-3-1-1	0.75	0.83	12,308	5159.00	3,281	19.67	17	14.10
236	3-3-3-1-2	0.75	0.84	12,845	5053.00	3,722	19.40	17	12.59
237	3-3-3-1-3	0.71	0.81	12,902	5030.00	3,467	19.21	16	12.94
238	3-3-3-2-1	0.78	0.85	7,991	4092.00	2,524	29.07	22	18.65
239	3-3-3-2-2	0.77	0.83	8,472	4066.00	2,567	27.87	21	17.91
240	3-3-3-2-3	0.75	0.82	8,342	4120.00	2,633	28.14	20	17.18
241	3-3-3-3-1	0.79	0.82	5,903	3079.00	1,717	39.18	29	26.57
242	3-3-3-3-2	0.79	0.81	6,046	3091.00	1,686	38.81	29	26.59
243	3-3-3-3-3	0.76	0.79	5,904	3073.00	1,772	38.80	28	24.69

AÇIKLAMALAR:
Tabloda 1-8 ve 9-16 olarak numaralandırılmış iki grup sütun bulunmaktadır.
Sütun başlıkları kısaltılarak kullanılmıştır. Tasarım kodu sütunu sırasıyla XYZ, StokYeri, YurOnc, TsFak ve DegFak faktörlerinin simülasyon koşumunda kaçıncı seviyesi olduklarını gösterir.

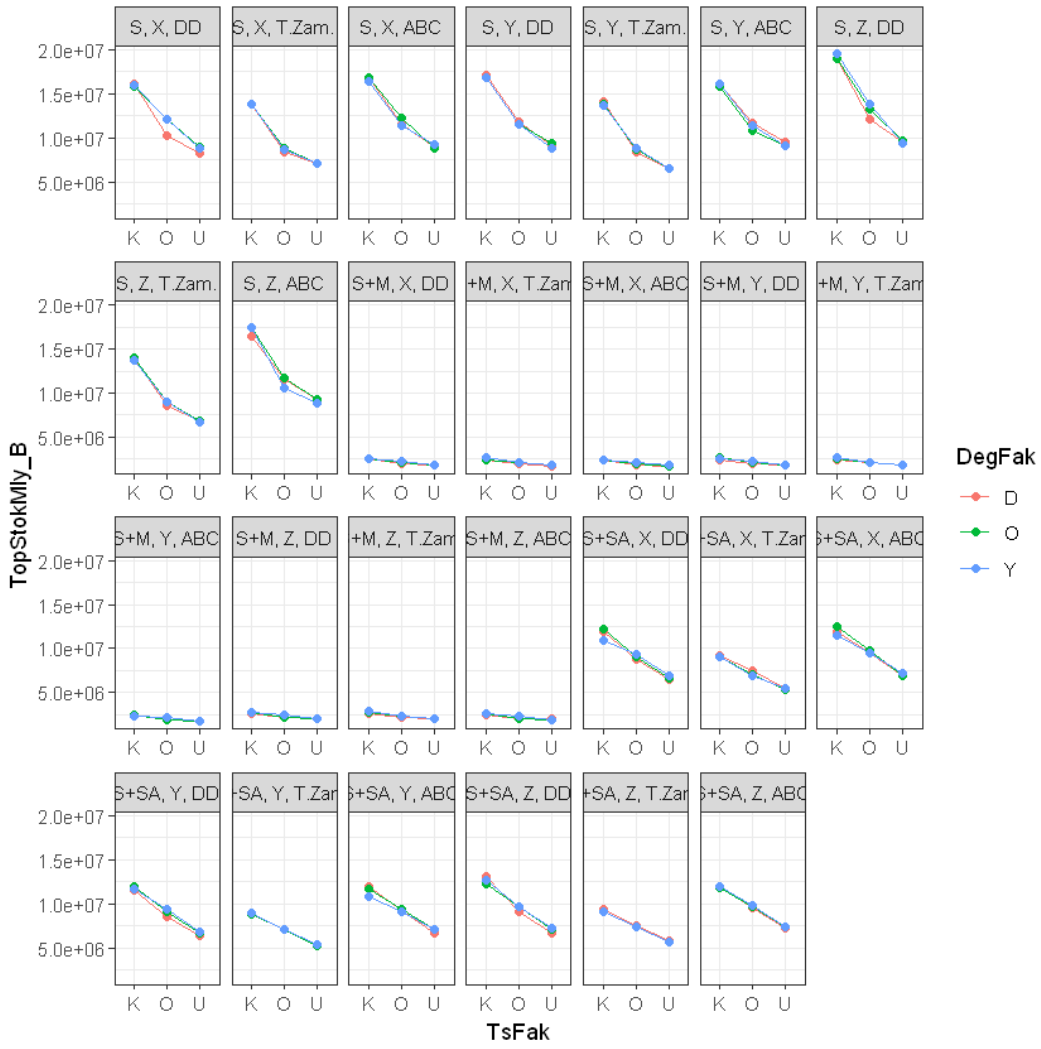
EK-5 ABC Kategorileri İçin Performans - Faktör Etkileri Grafikleri



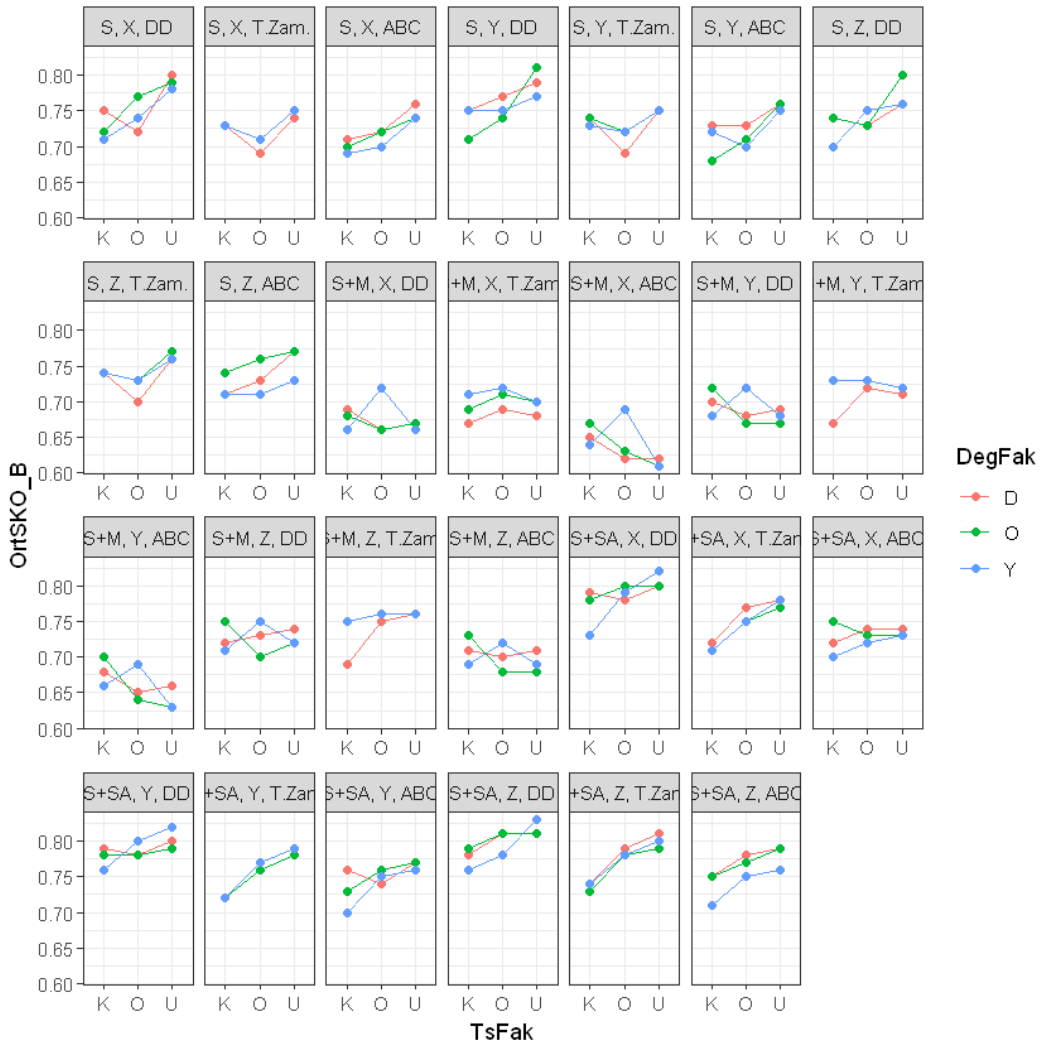
Şekil Ek.5.1 TopStokMly_B ve OrtSKO_B Üzerinde Genel Faktör Etkileri



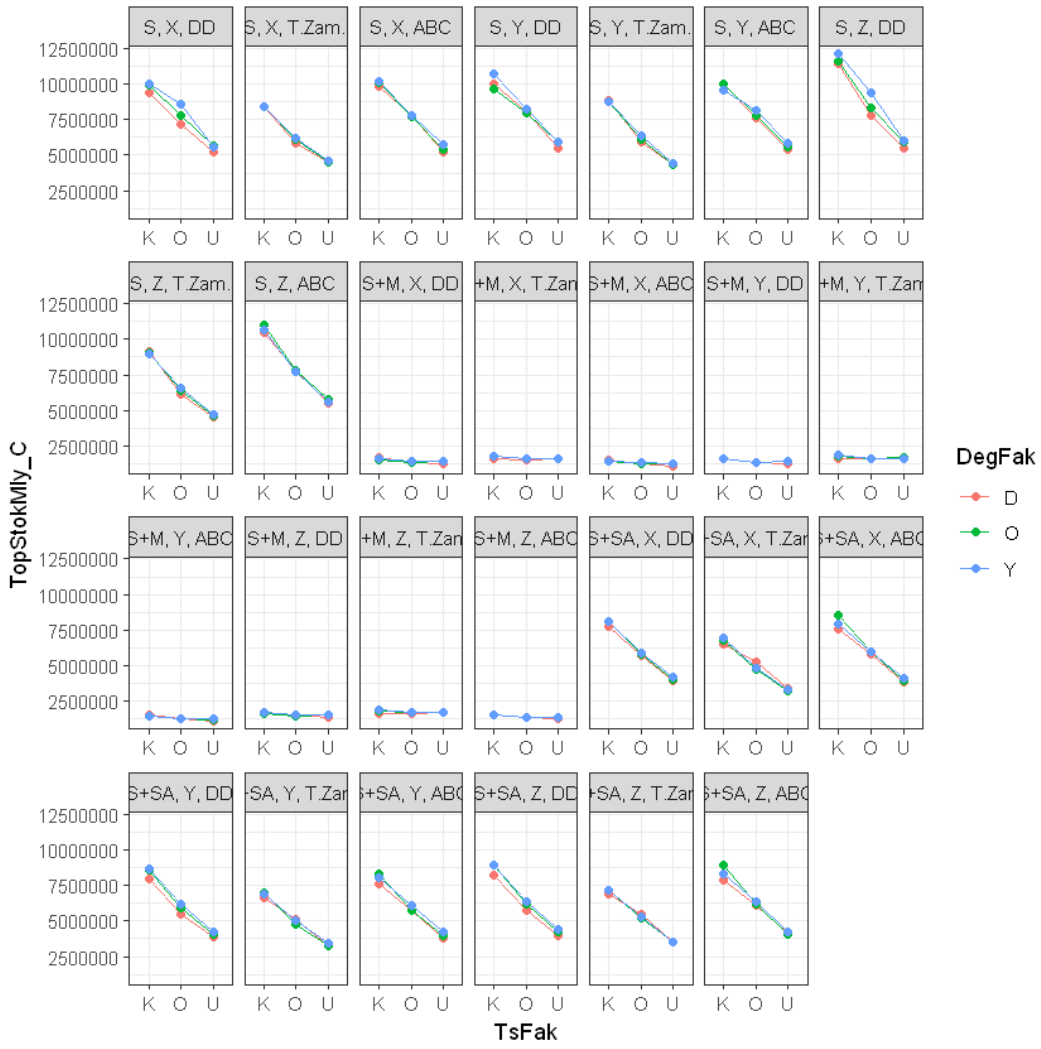
Şekil Ek.5.2 TopStokMly_C ve OrtSKO_C Üzerinde Genel Faktör Etkileri



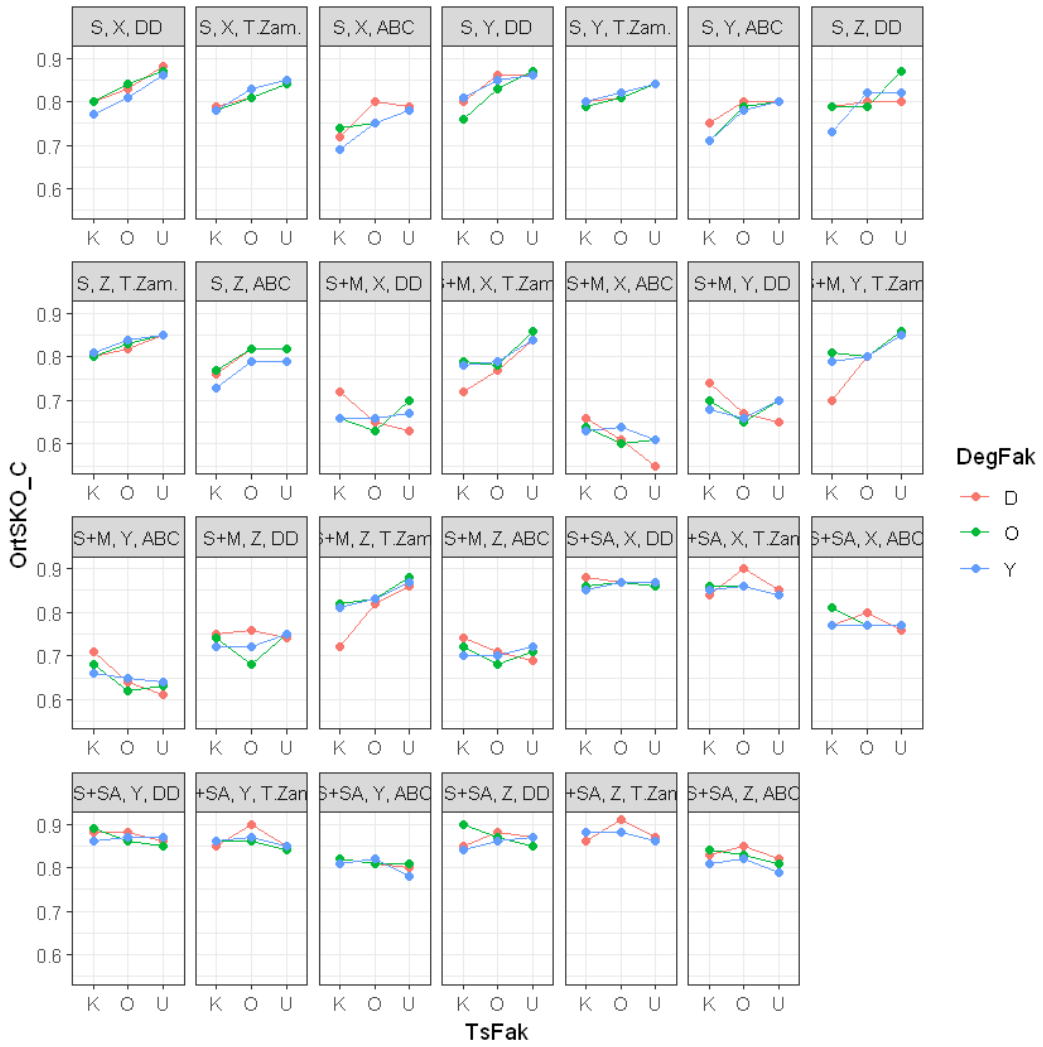
Şekil Ek.5.3 TopStokMly _B Üzerinde 5 Faktörün Etkisi



Şekil Ek.5.4 OrtSKO_B Üzerinde 5 Faktörün Etkisi



Şekil Ek.5.5 TopStokMly _C Üzerinde 5 Faktörün Etkisi



Şekil Ek.5.6 OrtSKO_C Üzerinde 5 Faktörün Etkisi

EK-6 Genel Performans Göstergeleri için Regresyon Analizleri

Tablo Ek.6.1 TopStokMly için Regresyon Sonuçları

Call:
lm(formula = TopStokMly ~ XYZ + StokYeri + YurOnc + TsFak + DegFak + StokBas + YurOnc:TsFak + StokYeri:TsFak + StokYeri:YurOnc + XYZ:YurOnc + XYZ:StokYeri + TsFak:DegFak + DegFak:StokBas + TsFak:DegFak + DegFak:StokBas + XYZ:TsFak, data = df2)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-14694483	-2310934	-18228	2642225	12552707

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	1.06E+08	1.11E+07	9.543	< 2.00E-16	
XYZ2	1.75E+06	2.38E+06	0.736	0.462375	
XYZ3	8.94E+06	2.38E+06	3.759	0.000223	***
StokYeri2	-3.06E+07	5.82E+07	-0.526	0.599796	
StokYeri3	-1.07E+08	6.43E+07	-1.668	0.096808	.
YurOnc2	-1.71E+07	2.38E+06	-7.211	1.11E-11	***
YurOnc3	-3.12E+06	2.38E+06	-1.311	0.191384	
TsFak2	-2.53E+07	2.95E+06	-8.586	2.47E-15	***
TsFak3	-3.88E+07	3.35E+06	-11.579	< 2.00E-16	
DegFak2	-9.42E+05	2.69E+06	-0.351	0.72618	
DegFak3	-4.63E+05	3.09E+06	-0.15	0.880985	
StokBas	8.98E+01	8.02E+01	1.119	0.264482	
YurOnc2:TsFak2	2.64E+06	2.20E+06	1.2	0.231454	
YurOnc3:TsFak2	1.65E+06	2.20E+06	0.747	0.455724	
YurOnc2:TsFak3	4.92E+06	2.20E+06	2.235	0.026494	*
YurOnc3:TsFak3	2.67E+06	2.20E+06	1.213	0.22639	
StokYeri2:TsFak2	-8.44E+05	1.20E+07	-0.07	0.944181	
StokYeri3:TsFak2	1.97E+07	1.33E+07	1.486	0.13873	
StokYeri2:TsFak3	5.28E+06	1.98E+07	0.266	0.790552	
StokYeri3:TsFak3	3.44E+07	2.19E+07	1.571	0.117705	
StokYeri2:YurOnc2	1.64E+07	2.20E+06	7.432	3.01E-12	***
StokYeri3:YurOnc2	5.26E+06	2.20E+06	2.392	0.017689	*
StokYeri2:YurOnc3	4.88E+06	2.20E+06	2.215	0.027862	*
StokYeri3:YurOnc3	4.60E+06	2.20E+06	2.089	0.037977	*
XYZ2:YurOnc2	-1.51E+06	2.20E+06	-0.687	0.492987	
XYZ3:YurOnc2	-4.44E+06	2.20E+06	-2.016	0.045134	*
XYZ2:YurOnc3	-2.90E+06	2.20E+06	-1.316	0.189649	
XYZ3:YurOnc3	-5.65E+06	2.20E+06	-2.565	0.011041	*
XYZ2:StokYeri2	-4.05E+05	2.20E+06	-0.184	0.854349	
XYZ3:StokYeri2	-3.16E+06	2.20E+06	-1.434	0.153188	
XYZ2:StokYeri3	-1.13E+06	2.20E+06	-0.512	0.608888	
XYZ3:StokYeri3	-2.94E+06	2.20E+06	-1.334	0.18361	
TsFak2:DegFak2	1.65E+06	2.58E+06	0.639	0.523671	
TsFak3:DegFak2	-8.08E+05	3.13E+06	-0.258	0.796641	
TsFak2:DegFak3	1.39E+06	3.24E+06	0.428	0.668846	
TsFak3:DegFak3	-1.21E+06	4.53E+06	-0.268	0.789057	
DegFak2:StokBas	3.22E+00	7.89E+00	0.408	0.683465	
DegFak3:StokBas	2.27E+00	1.38E+01	0.164	0.869558	
XYZ2:TsFak2	5.32E+05	2.20E+06	0.242	0.809178	
XYZ3:TsFak2	-1.09E+06	2.20E+06	-0.496	0.620381	
XYZ2:TsFak3	1.64E+05	2.20E+06	0.075	0.940547	
XYZ3:TsFak3	-2.01E+06	2.20E+06	-0.912	0.362784	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5718000 on 201 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9744, Adjusted R-squared: 0.9692
F-statistic: 186.4 on 41 and 201 DF, p-value: < 2.2e-16

Tablo Ek.6.2 OrtSKO için Regresyon Sonuçları

Call:
lm(formula = OrtSKO ~ XYZ + StokYeri + YurOnc + TsFak + DegFak + XYZ:StokYeri + XYZ:YurOnc + StokYeri:YurOnc + StokYeri:DegFak + YurOnc:TsFak + YurOnc:DegFak + YurOnc:StokBas + TsFak:DegFak + TsFak:StokBas + DegFak:StokBas, data = df2)

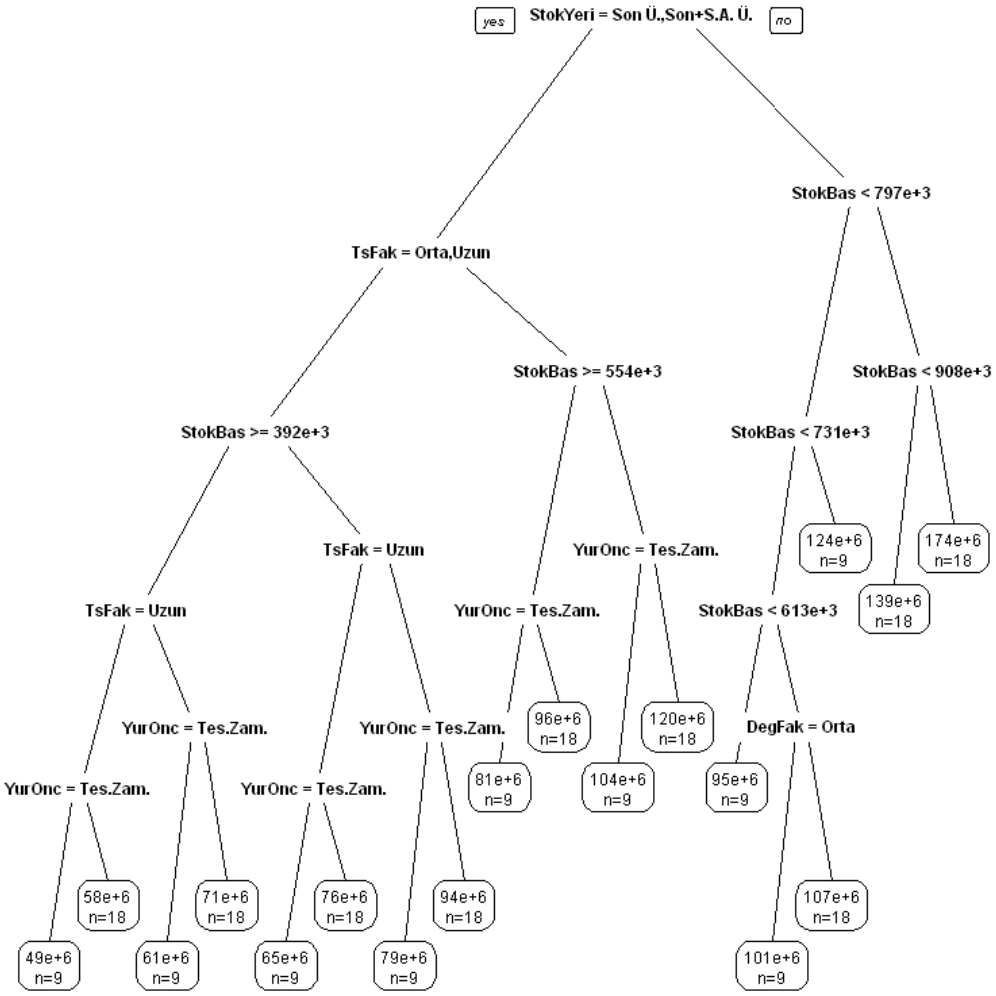
Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.066196	-0.006881	0.000119	0.008279	0.030899

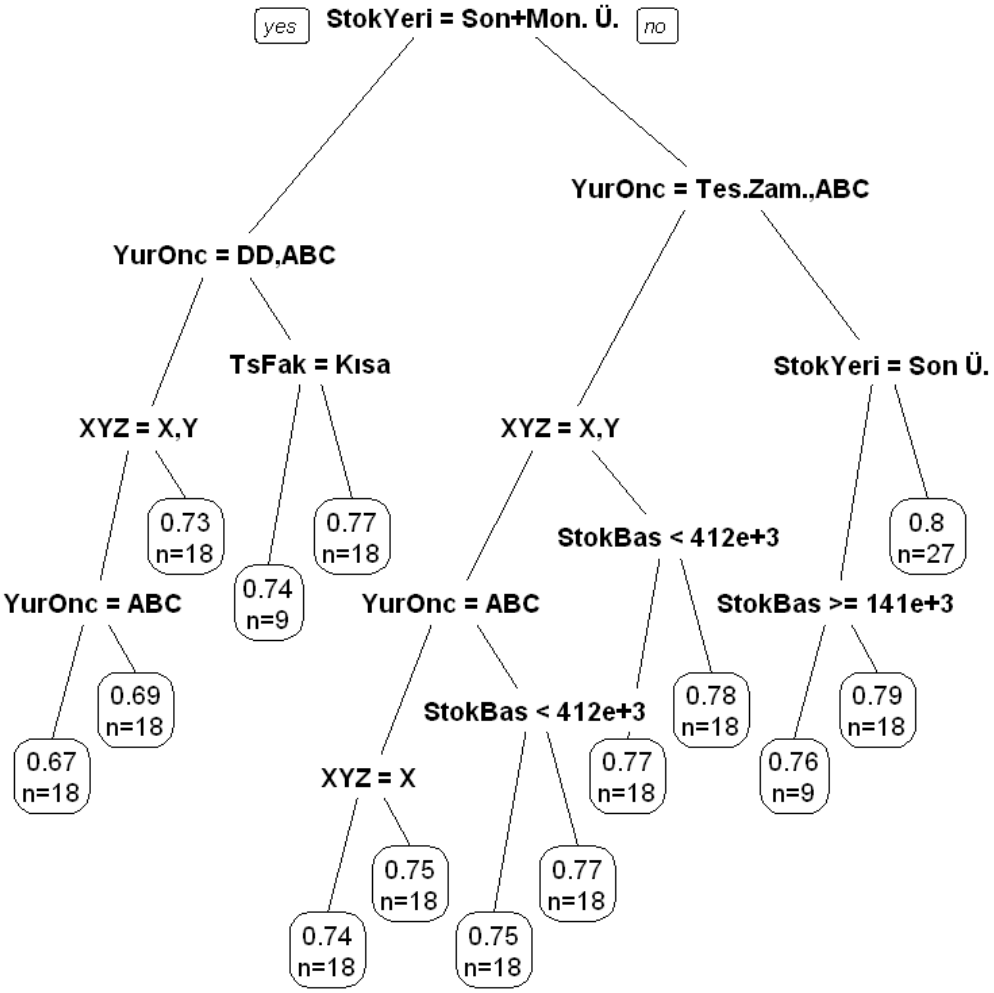
Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	9.978e-01	1.958e-01	5.095	8.13e-07 ***
XYZ2	4.198e-03	4.669e-03	0.899	0.369732
XYZ3	6.173e-04	4.669e-03	0.132	0.894952
StokYeri2	1.052e+00	9.666e-01	1.088	0.277838
StokYeri3	1.289e+00	1.067e+00	1.207	0.228794
YurOnc2	-3.254e-03	9.337e-03	-0.348	0.727855
YurOnc3	-4.117e-02	9.337e-03	-4.409	1.70e-05 ***
TsFak2	1.413e-02	8.247e-03	1.713	0.088297 .
TsFak3	3.345e-02	9.304e-03	3.595	0.000409 ***
DegFak2	-3.101e-02	1.456e-02	-2.131	0.034366 *
DegFak3	-3.558e-02	1.717e-02	-2.072	0.039572 *
XYZ2:StokYeri2	1.259e-02	5.115e-03	2.462	0.014672 *
XYZ3:StokYeri2	4.259e-02	5.115e-03	8.328	1.37e-14 ***
XYZ2:StokYeri3	5.926e-03	5.115e-03	1.159	0.248006
XYZ3:StokYeri3	1.222e-02	5.115e-03	2.390	0.017805 *
XYZ2:YurOnc2	-2.593e-03	5.115e-03	-0.507	0.612789
XYZ3:YurOnc2	7.407e-03	5.115e-03	1.448	0.149123
XYZ2:YurOnc3	7.778e-03	5.115e-03	1.521	0.129935
XYZ3:YurOnc3	2.185e-02	5.115e-03	4.272	3.01e-05 ***
StokYeri2:YurOnc2	1.582e-01	2.213e-02	7.150	1.66e-11 ***
StokYeri3:YurOnc2	9.170e-02	2.432e-02	3.770	0.000216 ***
StokYeri2:YurOnc3	-1.376e-02	2.213e-02	-0.622	0.534695
StokYeri3:YurOnc3	-3.225e-02	2.432e-02	-1.326	0.186354
StokYeri2:DegFak2	-8.094e-02	4.667e-02	-1.734	0.084441 .
StokYeri3:DegFak2	-1.057e-01	5.148e-02	-2.054	0.041300 *
StokYeri2:DegFak3	-4.391e-02	5.848e-02	-0.751	0.453642
StokYeri3:DegFak3	-7.318e-02	6.454e-02	-1.134	0.258188
YurOnc2:TsFak2	-9.958e-03	7.055e-03	-1.412	0.159670
YurOnc3:TsFak2	8.387e-03	7.055e-03	1.189	0.235963
YurOnc2:TsFak3	-2.499e-02	9.579e-03	-2.609	0.009771 **
YurOnc3:TsFak3	-4.666e-04	9.579e-03	-0.049	0.961202
YurOnc2:DegFak2	1.612e-02	5.399e-03	2.986	0.003189 **
YurOnc3:DegFak2	-3.254e-03	5.399e-03	-0.603	0.547402
YurOnc2:DegFak3	2.927e-02	6.172e-03	4.742	4.05e-06 ***
YurOnc3:DegFak3	-6.877e-03	6.172e-03	-1.114	0.266547
YurOnc1:StokBas	-1.602e-06	1.359e-06	-1.179	0.239690
YurOnc2:StokBas	-1.740e-06	1.359e-06	-1.281	0.201818
YurOnc3:StokBas	-1.576e-06	1.359e-06	-1.160	0.247584
TsFak2:DegFak2	3.691e-04	8.402e-03	0.044	0.965007
TsFak3:DegFak2	1.538e-02	1.055e-02	1.457	0.146572
TsFak2:DegFak3	8.670e-03	1.058e-02	0.819	0.413584
TsFak3:DegFak3	7.078e-03	1.059e-02	0.668	0.504758
TsFak2:StokBas	-3.701e-07	2.982e-07	-1.241	0.216028
TsFak3:StokBas	-7.543e-07	6.005e-07	-1.256	0.210498
DegFak2:StokBas	3.149e-07	2.020e-07	1.559	0.120536
DegFak3:StokBas	4.046e-07	3.315e-07	1.221	0.223730

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.01329 on 197 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9113, Adjusted R-squared: 0.891
F-statistic: 44.97 on 45 and 197 DF, p-value: < 2.2e-16

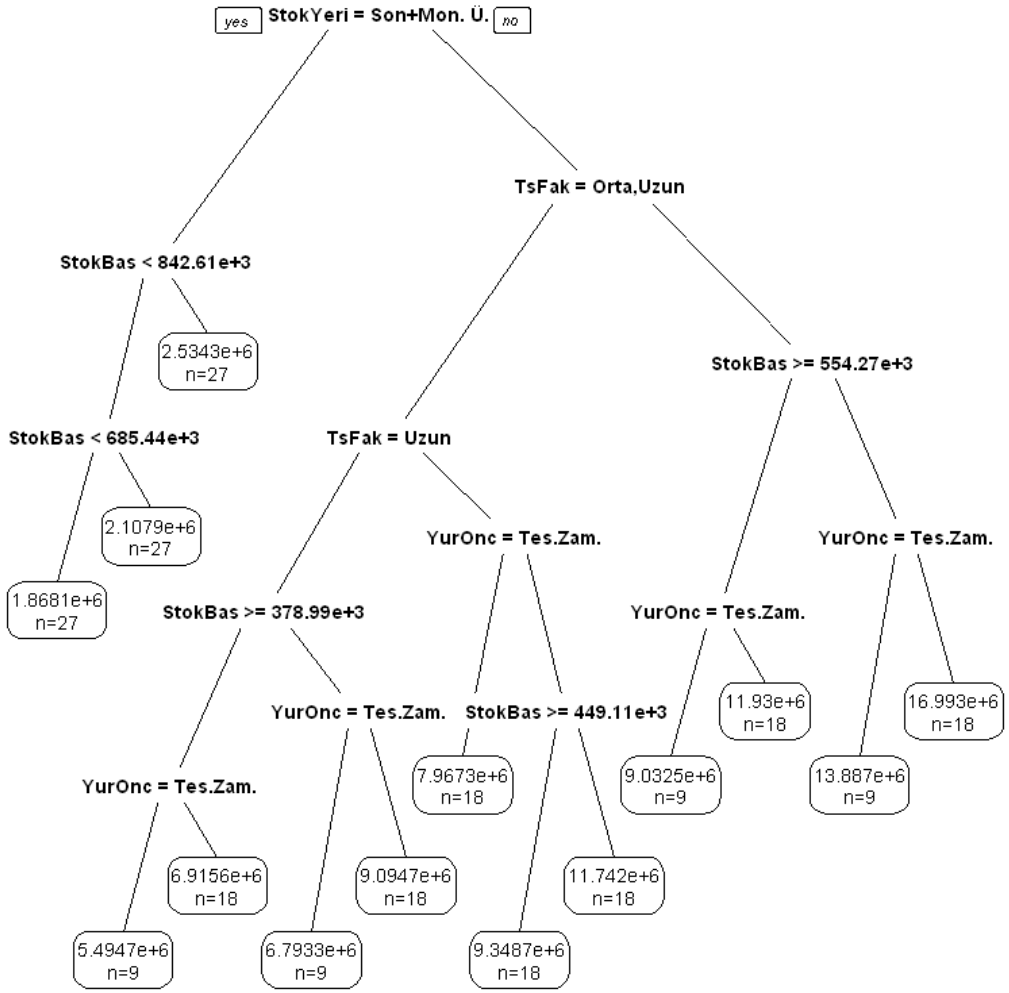


Şekil Ek.6.1 Stok Maliyeti (TopStokMly) için Regresyon Ağacı

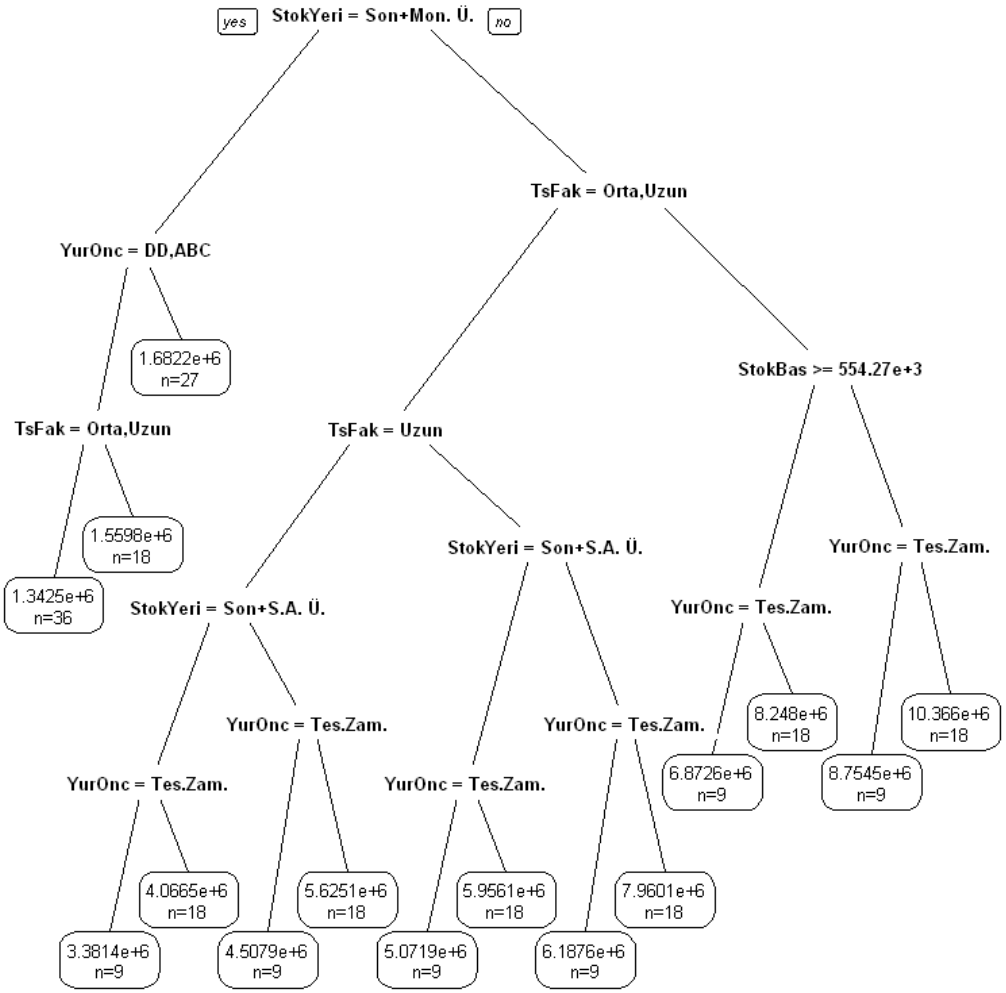


Şekil Ek.6.2 Sipariş Karşılama Oranı (OrtSKO) için Regresyon Ağacı

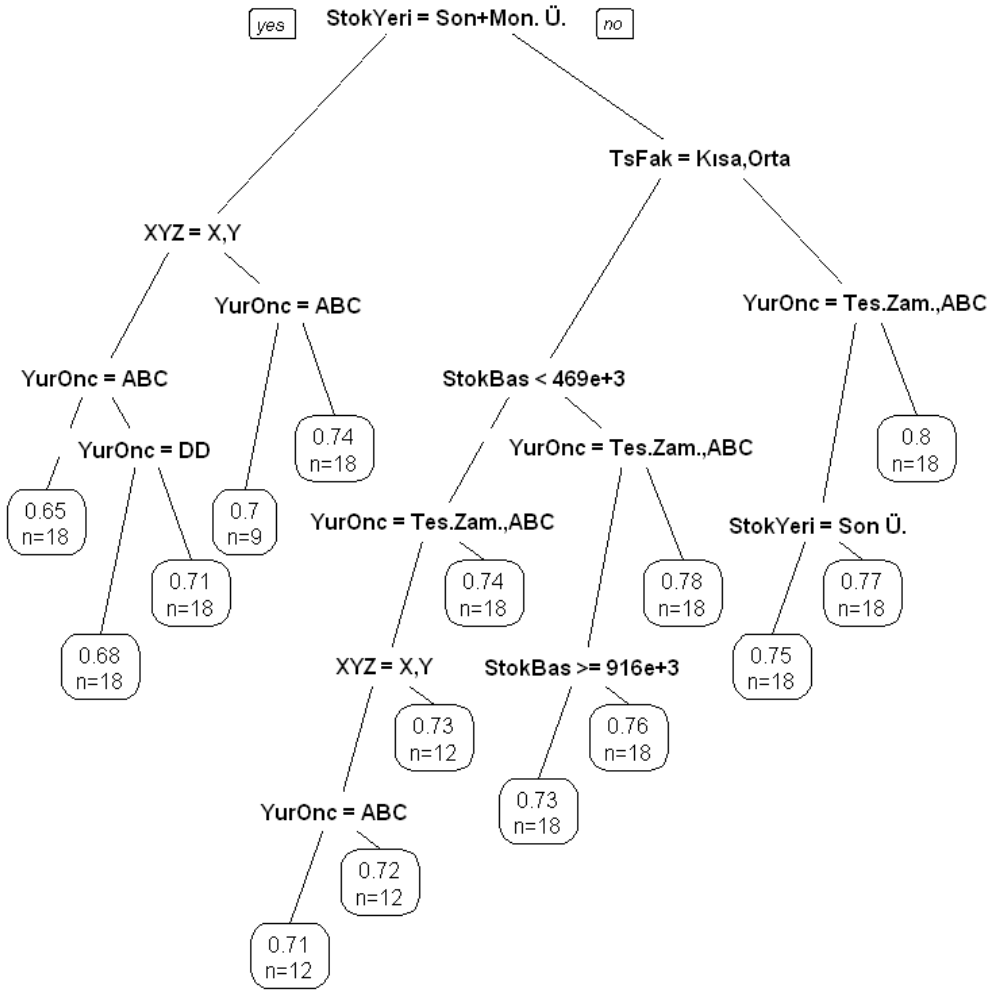
EK-7 ABC Kategorili Performans Göstergeleri için Regresyon Ağaçları



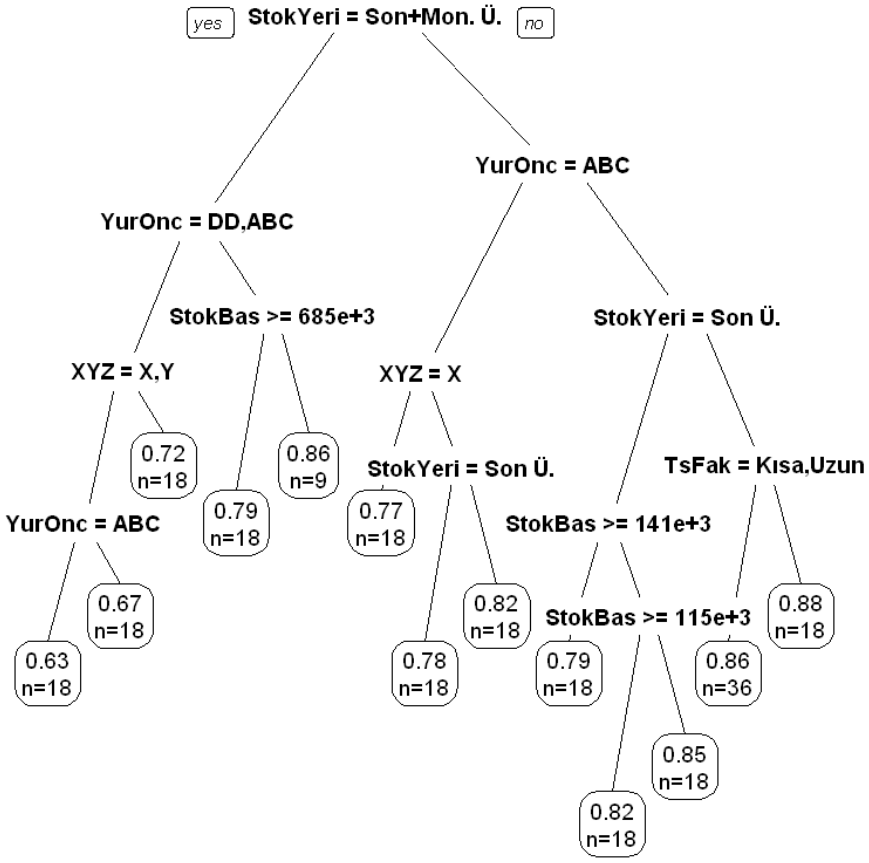
Şekil Ek.7.1 B Kategorisi Ürünlerin Stok Maliyeti için Regresyon Ağacı



Şekil Ek.7.2 C Kategorisi Ürünlerin Stok Maliyeti için Regresyon Ağacı



Şekil Ek.7.3 B Kategorisi Ürünlerin Sipariş Karşılama Oranı için Regresyon Ağacı



Şekil Ek.7.4 C Kategorisi Ürünlerin Sipariş Karşılama Oranı için Regresyon Ağacı

EK-8 DDMRP Simülasyon Modeli Veri Dosyası Yapısı

Tablo yapısında hem ürün ağacı hem de rotalama ve üretim ortamı parametreleri yer almaktadır. Boşluk, sekme veya ';' ile ayrılmış tablolardan oluşan yapıda 'c' ile başlayan satırlar ilgili iç tablonun açıklama ve alan başlıklarını ifade etmektedir. Takip eden satırların ilk harfi ilgili iç tablo verisine ait kodu belirtir. Böylece model dosyayı okuduğunda ilgili satır ve başlıkları gerekli veri yapısına uygun olarak alır ve kullanacağı şekilde saklar.

Tablo Ek.8.1 DDMRP Simülasyon Modeli Veri Dosyası Yapısı

```
c Model_name LT_unit
p TezEs03 [d]
c name type lead_time mtrl_cost part_id
n SKU101 END 2 2787 10
n SKU201A PART 5 225 11
n …
c parent child Qty
a SKU101 SKU201A 1
a SKU101 SKU202A 1
a …
c sku buffered sellable method sourcing part_root ws_name lot_size setup_t cycle_t backordable CTT
b SKU101 1 1 1 1 R101 WS_101 50 0.125[h] 0.2[h] 0 0[d]
b SKU201A 0 0 1 1 R201 WS_201 100 0.25[h] 0.55[h] 0 0[d]
b …
c NAME OWNER ADU OSH OST LTF1 LTF2 VRF MOQ DOC BUFPRFL PRCOST SELLPR INIOH TLT1 TLT2
x SKU101 PLANT_A 150 0[d] 99999 -1 -1 -1 -1 -1 MLM 2787 4760 13125 0[min] 0.0[min]
x SKU201A PLANT_A 1600 0[d] 99999 -1 -1 -1 -1 -1 ILM 225 0 0 0[min] 0.0[min]
x …
c WS_NAME WS_ID CAPACITY AVG_BRK AVG_MNT PERIOD_LEN
w1 WS_101 0 45[h] 3.6[h] 0[h] WEEK5
w1 WS_201 1 45[h] 5.7[h] 0[h] WEEK5
w1 …
c LT assignments
c PartType LB-S UB-S LB-M UB-M LB-L UB-L
d1 PURC 0 10 11 20 21 9999
d1 MANU 0 4 5 9 10 9999
d1 INTE 0 4 5 9 10 9999
c PRFL_NAME LTF1 LTF2 VRF
d2 MMM 0.5 0.5 0.5
d2 MSM 0.8 0.8 0.5
d2 MLM 0.3 0.3 0.5
d2 …
```

AÇIKLAMALAR:
CTT: Müşteri tolerans süresi
ADU: Ortalama günlük kullanım (OGK), OSH: Sipariş sıçrama ufku, OST: Sipariş sıçrama eşiği, LTF: Tedarik süresi faktörü (TSF), VRF: Değişkenlik faktörü (DF), MOQ: en küçük sipariş miktarı (EKSM),
DOC: İstenen sipariş çevrim süresi, BUFPRFL: Tampon profili, PRCOST: Üretim maliyeti,
SELLPR: Satış fiyatı, INIOH: Başlangıç stoku, TLT1: Transfer zamanı iç, TLT1: Transfer süresi dış
LB: Alt sınır, UB: Üst sınır (Tedarik süresi S: Kısa, M: Orta ve L:Uzun kategorileri için sınırlar)
PRFL_NAME: Profil adları

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet BALCIOĞLU

Eğitim

Doktora	2023	Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı
Yüksek Lisans	2000	Naval Postgraduate School (ABD), Yöneylem Araştırması
Lisans	1993	Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu, İşletme Bölümü
Lise	1989	Kuleli Askeri Lisesi

İş/İstihdam (Varsa)

1993-2017	Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Subay

Mesleki Birlik/Dernek Üyelikleri (Varsa)

2018 -	Üye: LODER - Lojistik Derneği
2022 -	Üye: YAD - Yöneylem Araştırması Derneği

Yayınlar ve Diğer Bilimsel/Sanatsal Faaliyetler

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler

- A. Balcioglu, "Assessing the Effect of Relocating Urban Distribution Centers on Goods Movement in an Urban Context - A Modeling Approach for Decision Makers", Proceedings of 15th International Logistics and Supply Chain Congress, Istanbul, 2017.
- U.Z. Yıldırım, İ. Sabuncuoğlu, B.Ç. Tansel, and A. Balcioglu, "A Design of Experiments Approach to Military Deployment Planning Problem", Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, 2008.

Yazılan uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler

- A. Balcioglu and R.K. Wood, "Enumerating near-min s-t cuts", in Network İnterdiction and Stochastic İnteger Programming, D. Woodruff (Editor), pp. 21–49, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

- A. Balcıoğlu ve M. Tanyaş "Talep Odaklı Malzeme İhtiyaçları Planlaması Metodolojisi Hakkında Literatür İncelemesi", 8. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 25-27, Nisan Niğde, 2019.
- A. Balcıoğlu ve B. Bayender, "Şehir İçi Gıda Dağıtımında İşbirlikçi Taşıma Yaklaşımının Modellenmesi ve Analizi", VI. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 113-128, Antalya, 2017.