

BİR SAVUNMA SANAYİ ŞİRKETİNDE MALZEME ENVANTER YÖNETİM SİSTEMİNİN YENİDEN TASARLANMASI

Süleyman Mert AYDIN, Mert KARAASLAN, Tolga KARABAŞ*, Yusuf Mahir NARTOK, Rüstem Ozan ÖZDEMİR, Ömer KIRCA, Sedef MERAL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
aydinsmert@gmail.com, merttkaraaslan@gmail.com, karabastolga@gmail.com, yusufmahirnartok@gmail.com,
rozanozdemir@gmail.com, kirca@metu.edu.tr, sedef@metu.edu.tr

Geliş Tarihi: 07.10.2017; Kabul Ediliş Tarihi: 25.12.2017

ÖZ

Bu çalışmada, bir savunma sanayi şirketindeki satın alınan malzemelerin envanter yönetim sistemi ve bu sistemdeki problemler ele alınmıştır. Proje kapsamında ilgilenilen sistem, malzeme taleplerinin açılmasından malzemelerin üretim atölyelerine aktarılmasına kadar geçen süreçleri içermektedir. Uygun zamanda ve miktarda tedarik edilen malzemeler, sözleşme üzerine üretim yapan şirket için hayati önem arz etmekte ve tedarikteki olası gecikmeler şirket için prestij kaybının yanı sıra büyük maddi yük oluşturabilmektedir. Mevcut sistemin analizi sonucunda dört ana problem belirtisi saptanmıştır: düşük "envanter devir oranı", gerçeği yansıtmayan "fire oranı", tedarik sürelerinin rassallığından dolayı malzemelerin planlanan teslim tarihlerine göre "gecikme"leri ve satınalma onaylarının "şirket içi bekleme" süreleridir. Bu çalışmada; bu belirtilerin yol açtığı Ana Üretim Çizelgesinde yapılan değişiklikler, üretimde malzeme eksikliğinden dolayı yaşanan aksaklıklar, proje teslimlerinde gecikmeler gibi problemlerin hafifletilmesini amaçlayan malzeme envanter yönetiminin yeniden tasarlanması ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, envanter devir oranlarını arttıracak, toplam malzeme elde tutma ve sabit sipariş maliyetlerini, malzeme kıtlığı olasılığını ve bozulan malzeme miktarını azaltacak malzeme envanter yönetimi için bir karar destek sistemi önermektir. Bu amaçla, yeni yaklaşımlar geliştirilmiş ve sonuçları mevcut sistemle kıyaslanmıştır. Malzemelerin tipleri ve raf ömürleri göz önünde bulundurularak, uygun sipariş büyüklükleri ve zamanlamaları sezgisel yaklaşımlar ve matematiksel modellerle belirlenmiştir. Daha sonra ise önerilen sistemle mevcut sistem, hem geçmiş veri ile hem de Monte Carlo Benzetimi kullanılarak ileriye dönük veri ile test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme envanter yönetimi, rassal tedarik süresi, sipariş zamanı ve büyüklüğü, Gazeteci Çocuk Problemi, Monte Carlo Benzetimi

DESIGN OF AN INVENTORY MANAGEMENT SYSTEM FOR THE PURCHASED MATERIALS IN A DEFENSE-INDUSTRY COMPANY

ABSTRACT

In this study, the inventory management system of the purchased materials in a defense industry company, and the problems therein are discussed. The system involved in the project includes the processes from the opening of the materials orders to the transfer of the materials to the production workshops. The materials supplied at the appropriate time and quantity are of vital importance for the contract manufacturing company and the potential delays in the supply are the major financial burden as well as the loss of prestige for the firm. The analysis of the current system has revealed four major problem symptoms: low "inventory turnover ratio", "waste ratio" that does not reflect the reality, "delays" based on scheduled delivery dates of materials due to the uncertainty in lead times, and "in-house waiting times" for purchase approvals. In this study, the redesign of material inventory management system aimed at alleviating problems such as frequent replacement of the Master Production Schedule caused by these symptoms, defects due to lack of materials in production, and delays in project delivery is addressed. The purpose of this study is to propose a decision support system for material inventory management that helps increase inventory turnover ratios, reduce total material holding and fixed ordering costs, reduce the likelihood of material shortage, and reduce the amount of spoiled material. For this purpose, new approaches are proposed and the results thus obtained are compared against the current system. Considering the types and shelf lives of materials, appropriate order sizes and schedules are determined by means of heuristic approaches and mathematical models. Then the proposed and existing systems are tested using both past data and prospective data generated through Monte Carlo Simulation.

Keywords: Materials inventory management, stochastic lead times, order timing and order size, Newsvendor Problem, Monte Carlo simulation

* İletişim yazarı

37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda ödül kazanan çalışma ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. GİRİŞ

Savunma sanayi şirketlerinde nihai ürünler müşteri ve şirket arasında imzalanan sözleşmelere göre sipariş-görev-tasarım bazlı üretilmektedir. Bu sözleşmeler özellikle proje teslim tarihleri ve malzeme tedarikçileri üzerinde önemli kısıtlamalar içerirken, teslimattaki gecikmeler şirketler için oldukça yüksek ceza maliyetlerine neden olmaktadır. Bu gecikmeler genellikle tedarikçilerden kaynaklanmakta, ancak malzemelerin ve ürünlerin kendilerine özgü kısıtlarının olması sebebiyle sadece belli başlı tedarikçilerle çalışılabilmektedir. Söz konusu gecikmeleri engellemek için tedarikçi ve malzeme özelliklerini göz önünde bulundurularak malzeme envanter yönetimini iyileştirecek, uygun sipariş büyüklüğü ve zamanlamalarını belirlemeye yarayacak etkili bir envanter yönetim sistemi kurulması gerekmektedir.

Çalışmanın yürütüldüğü şirket, tasarım ve üretim faaliyetlerini; özelleştirilmiş, uzun temin süreli son ürünler içeren projelerle sürdürmektedir. Bu projelerin gereksinimleri, tıpkı diğer savunma sanayi şirketlerinde olduğu gibi, müşterilerle imzalanan anlaşmalarla belirlenmekte ve her projenin malzeme ihtiyacı projeden sorumlu mühendisler tarafından takip edilmektedir. Ancak mevcut envanter yönetim sistemi, sipariş açılmasından malzemelerin üretim atölyelerine taşınmasına kadar olan süreci sorunsuz şekilde yönetebilmek için yetersiz kalmaktadır.

Mevcut malzeme envanter yönetim sistemi incelendiğinde dört temel problem belirtisi ile karşılaşılmıştır. Bunlardan ilki, bir yıl içerisindeki toplam malzeme ihtiyacının, yıl içindeki ortalama envanter seviyesine bölünmesiyle hesaplanan “envanter devir oranları”nın düşüklüğüdür. Malzemelerin siparişleri açılırken “en küçük sipariş büyüklüğü”, “paket büyüklüğü” ve “raf ömrü” gibi kısıtlar gözetilerek uygun sipariş büyüklükleri ve zamanlamaları hesaplandığı takdirde, ortalama envanter seviyesinin düşeceği; dolayısıyla da envanter devir oranlarının artacağı açıktır.

İkinci problem belirtisi ise “fire oranları”dır. Şirkette, malzeme grubu ayrımı gözetmeksizin, deneyime dayalı olarak kabul edilen fire oranı kişiden kişiye göre değişiklik göstermektedir. Genellikle %20 ile %30 olarak kabul

edilen fire oranlarının, envanter hareketleri malzeme bazlı olarak incelendiğinde bu değerlerden çok daha farklı olduğu tespit edilmiştir.

Bir diğer problem belirtisi olan “tedarik süreleri”, tedarikçilerin özellikleri göz önünde bulundurularak planlanan malzeme tedarik süreleri olarak belirlenmiş olup, sabit kabul edilmektedir. Ancak gerçekleşen teslim tarihleri ile planlanan teslim tarihleri, genellikle gecikme şeklinde, birbirinden farklı olmaktadır. Envanter hareketleri incelendiğinde, malzemelerin %72’sinin teslim tarihlerinin varyasyon katsayısı 0,3’ten büyük olarak saptanmıştır; bu analizin sonucu, tedarik sürelerinin rassal dağılıma sahip olduğuna dair önemli bir bulgudur.

Son problem belirtisi ise şirket içi onay sürelerinin uzunluğudur. Siparişlerin şirket içi bekleme süresi, Üretim Planlama Müdürlüğü’nde talep açılmasından Tedarik Direktörlüğü’nde siparişin onaylanmasına kadar geçen süreyi kapsamaktadır. Yine yapılan incelemelerde bu sürenin tedarik sürecinde oldukça önemli bir yer tuttuğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, mevcut envanter sistemindeki sorunlar incelenmiş, sezgisel ve matematiksel modeller kullanılarak malzemeler için uygun sipariş zamanlamalarını ve sipariş büyüklüğünü belirlemeye yarayacak bir karar destek sistemi önerilmiştir. Literatürde, en uygun sipariş verme zamanının belirlenmesine katkıda bulunacak rassal tedarik süreli envanter modelleri incelendiğinde; malzemelerin bozulabilirliğini dikkate almadan sipariş verme zamanı bulunması sağlanırken, bu çalışmada önerilen yöntem ile malzemelerin bozulma durumlarını da dikkate alarak sipariş verme zamanları belirlenmektedir. Ayrıca sipariş büyüklüğünün belirlenmesinde ise maliyet odaklı farklı sezgisel kafiye büyüklüğü yöntemleri ile (Silver-Meal, Groff, Freeland-Colley ve Parça-Dönem Dengeleme yöntemleri), malzeme sınıfını da dikkate alan en düşük maliyetli çözümü veren sezgisel yöntemi seçme yoluna gidilmiştir. Bu sayede bu sezgisellerin uzun vadede maliyeti en düşük olan sipariş büyüklüklerine uygun sipariş verme zamanları belirlenmiştir. Ayrıca, bazı malzemeler için “en küçük malzeme sipariş miktarı” ve “paket büyüklüğü” gibi tedarikçi kısıtlarını dikkate alan matematiksel modeller aracılığıyla malzeme sipariş büyüklükleri belirlenmiştir. Son olarak, şirket için kritik

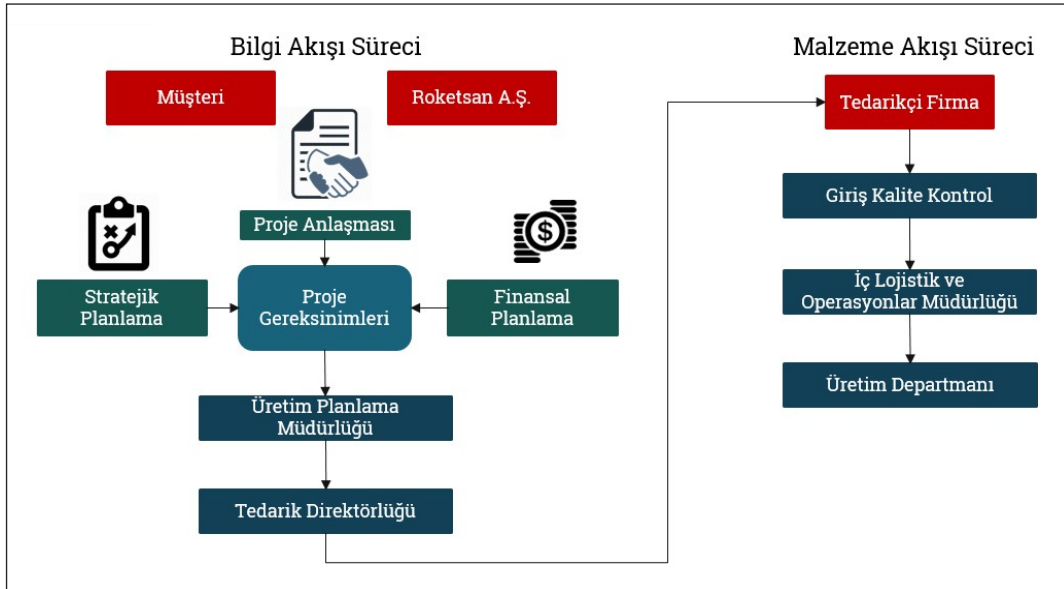
olduğu bilinen bir performans ölçüsü olan envanter devir oranı; ortalama envanter seviyesinin zamana bağlı olarak Riemann Toplamıyla yaklaştırılması ve toplam malzeme tüketim miktarlarının belirlenmesiyle hesaplanır. Sonuç analizi kısmında ise mevcut sistem ve önerilen yeni sistem karşılaştırmaları, hem geçmiş veri hem de Monte Carlo Benzetimi sayesinde ileriye dönük veri ile yapılmış ve ilgili performans ölçülerinde önemli iyileştirmeler gözlemlenmiştir.

2. ORGANİZASYONA GENEL BAKIŞ: İLGİLİ SÜREÇLER, PROJE VE MALZEME SINIFLARI

Bu bölümde, malzeme tedarik sürecinde görev alan birimler arasındaki hiyerarşi, proje türleri ve malzeme türleri anlatılmaktadır. Malzeme tedarik süreci, bilgi akışı ve malzeme akışı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bilgi akışı süreci, şirket ile müşterileri arasında imzalanan anlaşmalarla başlar ve sözleşmelerde belirtilen proje gereksinimlerine göre stratejik ve finansal planlamalar ile devam eder. Bu gereksinimler daha sonra Üretim Planlama Müdürlüğü'ne aktarılır. Proje gereksinimlerinden ilk olarak Ana Talep Çizelgesi oluşturulur. Daha sonra bu çizelgeden yararlanılarak, Kurumsal Kaynak Planlama yazılımı vasıtasıyla Ana Üretim Çizelgesi ve atölye çizelgeleri oluşturulur. Ana Üretim Çizelgesinden

Malzeme İhtiyaç Planlaması çıkarıldıktan sonra eldeki malzeme durumuna göre yeni malzeme tedariki kararı ve atölyelere iş emirleri verilir. Yeni malzeme tedariki kararı verilmesi durumunda bu talep, onay için Üretim Planlama Müdürlüğü'ndeki yöneticilere aktarılır. Sipariş maliyetine göre gereken onayın süresi değişiklik gösterir. Üretim Planlama Müdürlüğü'nde yönetici onayı alındıktan sonra bu siparişler Tedarik Direktörlüğü'ne iletilir ve tıpkı Üretim Planlama Müdürlüğü'nde olduğu gibi gerekli yönetici onayı alındıktan sonra siparişler tedarikçilere aktarılır ve bilgi akışı süreci noktalanır. Tedarikçilerden gelen malzemelerin Giriş Kalite Kontrol'deki testlerinin yapılması ve ardından İç Lojistik ve Operasyonlar Müdürlüğü ile atölyelere aktarılması ise malzeme akışı sürecini kapsamaktadır (Şekil 1).

Şirketteki proje türleri; seri üretim, araştırma-geliştirme (AR-GE) ve fason üretim projeleri olarak sınıflandırılır. Seri üretim projeleri, tasarımı daha önceden tamamlanmış ürün tiplerinden oluşur. Öte yandan, çalışmanın yürütüldüğü şirket bir savunma sanayi şirketi olduğu için AR-GE projeleri üretimde önemli bir yer tutmaktadır. Başlangıçta prototip sayıları birkaç ile ifade edilen bu projelerin, zamanla prototip sayılarında meydana gelen artışla beraber seri üretime geçme ihtiyacı hissedilir ve bir AR-GE projesinin seri üretime geç-



Şekil 1. Malzeme Tedarik Süreci

bilmesi için kalifikasyon adı verilen işlemde geçmesi gerekmektedir. Kalifikasyon, önce üretim bandı bazında, daha sonra da parça bazında tamamlanır. Fason üretim proje grubu ise tasarımı iş ortakları tarafından üstlenilen, şirketin yalnızca üretim kısmında rol aldığı projeleridir.

Şirkette satın alınan malzemeler “esnek kaynak kullanımlı” ve “kesin kaynak kullanımlı” olmak üzere iki malzeme grubu olarak tanımlanır. Esnek kaynak kullanımlı malzemeler tüm projeler tarafından ortak kullanılabilen malzeme gruplarından oluşmaktadır. Bu tür malzemelerin siparişleri genellikle Tedarik Direktörlüğü tarafından toplaştırılarak açılır; boya, yapıştırıcı ve bazı kimyasal türü malzemeler esnek kaynak kullanımlı malzemelere örneklerdir. Öte yandan, kesin kaynak kullanımlı malzemeler ise yalnızca sipariş sahibi olan planlama grubunun projeleri tarafından kullanılabilen malzemelerden oluşur. Kesin kaynak kullanımlı malzemelerin tedarik süreleri, esnek kaynak kullanımlılara göre genellikle daha uzundur.

3. PROBLEM ANALİZİ

3.1 Probleme İlgili Sistem Mekanizması

Şirkette üretim atölye bazlı olup, faaliyetlerini sürdürdüğü iş ortamının doğası gereği seri üretim projelerinin yanı sıra AR-GE projelerine de büyük önem verilmektedir. Bu sebeple şirket içi malzeme envanter yönetimi karmaşık ve zorlu olabilmektedir. Karmaşıklıkla yaratan unsurlar aşağıda sıralanmıştır:

- Oldukça yüksek sayıda hammadde malzeme kalemi bulunması
- Aynı anda süreçleri ve malzeme ihtiyaçları birbirinden farklı olabilen birden çok projenin yürütülmesi
- Ürün ağaçlarındaki çeşitlilik
- Malzeme tedarigi için gereken uzun süreli şirket-içi onay prosedürü
- Oldukça özelleştirilmiş son ürünler
- Operasyonel belirsizlikler
- Gizlilik sözleşmeleri gereği tedarik sürecinde alınması gereken tedbirler
- Sözleşmeler ile belirlenen katı kısıtlar
- Tedarikçi tarafından belirlenen kalem bazlı minimum sipariş miktarları ve belli paket büyüklükleri
- Bozulabilen malzemeler için raf ömrü kısıtları

Mevcut sistemde var olan karmaşıklıkları göz önünde bulundurarak, proje gerekçesi ve amacı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Proje gerekçesi: Malzemelerin karakteristik özelliklerini (elektronik, kimyasal, yapıştırıcı vb.) göz önüne alan bir malzeme envanter yönetim sisteminin yetersizliği

Amaç: Malzeme tedarik sürecini iyileştirecek bir envanter yönetim sisteminin tasarlanması

3.2 Veri Analizi ve Problem Belirtileri

Sistemi daha iyi anlamak ve problem belirtilerini gözlemleyebilmek için aşağıda belirtilen verilerden yararlanılmış ve detaylı analizler yapılmıştır.

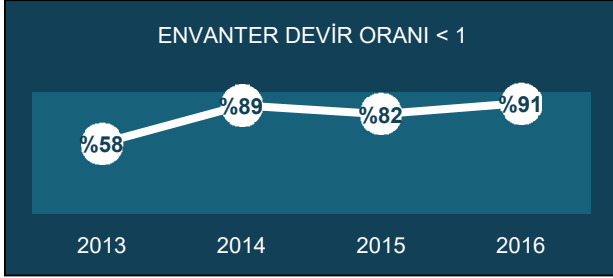
- Ocak 2013 ile Ağustos 2016 tarihleri arası şirket içi envanter hareketleri
- Ocak 2013 ile Ağustos 2016 tarihleri arası talep-sipariş takip işlemleri

Bu veriler üzerinde yapılan analizler sonucunda aşağıda açıklamaları ile verilen dört problem belirtisi ortaya çıkmıştır.

Envanter Devir Oranı

Öncelikle, verisi olan her malzeme kalemi için yıllık ortalama envanter seviyeleri yukarıda adı geçen envanter hareketi verisinden yararlanılarak Riemann Toplamı yöntemiyle hesaplanır. Bu yöntemde, envanter seviyeleri bir sonraki seviye değişimlerine kadar geçen süre ile çarpılır ve bu çarpımlar toplanıp ilk ve son hareket arası geçen süreye bölünerek ortalama envanter seviyeleri hesaplanır. Daha sonra, kalem bazlı toplam tüketim miktarı, bulunan bu ortalama envanter seviyesi ile bölünür ve böylece her bir malzeme kalemi için veri setindeki her bir yıla ait ortalama envanter devir oranı hesaplanmış olur. Bu değerler, bir kalemin yıl içerisinde kaç defa tamamen tüketildiğini göstermektedir. Bu değerlerin düşük olması, malzemenin kullanımının ortalama envanter seviyesine göre düşük olduğunu ve bu yüzden elde tutma maliyetlerinin yüksek olduğunu gösterir.

Anlatılan yöntem kullanılarak 5826 adet malzeme kalemi için envanter devir oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 2013 yılında malzemele-



Şekil 2. 2013-2016 Yıllarında Envanter Devir Oranı '1'Den Küçük Olan Malzemelerin Oranları

2013 yılında %58'inin, 2016 yılında ise %91'inin envanter devir oranlarının '1'den küçük olduğu saptanmıştır (Şekil 2).

Fire Oranı

Fire, hurdaya çıkan ve tedarikçiye iade edilen malzemeleri içermektedir. Bu oranın sipariş açılırken gereken miktarın üzerine eklenmesiyle son sipariş büyüklüğü belirlenmiş olur.

Şirkette üretim planlama mühendisi malzeme talebi açarken her bir malzeme kalemi için bu fire oranını deneyimlerine dayalı olarak belirlemektedir. Örneğin, farklı projelerde çalışan ve aynı malzemelerden sorumlu iki mühendisten biri aynı malzeme kalemi için fire oranını %20 belirlerken, diğeri %30 olarak belirleyebilmektedir.

İlk olarak, her bir malzeme grubu için envanter hareketleri verisi kullanılarak gerçekleşen hurda oranları hesaplanmıştır. Tablo 1'de de görüldüğü gibi, değişik malzeme grupları için hurda oranları büyük değişimler göstermektedir. Örneğin, yapıştırıcı grubu malzemelere bakıldığında, bunların %41'inin hurda oranı %20'den, yine %31'inin hurda oranının %30'dan büyük olduğu görülmektedir.

Tedarikçiye iade kısmına gelindiğinde ise, Tablo 2'de görüldüğü gibi, yapıştırıcı grubu malzemeler ele alındığında %14'ünün tedarikçiye iade oranının %20'den büyük olduğu tespit edilmektedir.

Yüksek fire oranı üzerine yapılan detaylı çalışmalar sonucunda, karşılaşılan yüksek fire oranının büyük bir kısmının raf ömürlü malzemelerden kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle kısa raf ömürlü malzemelerde bu oranın yüksek çıkması, deneyime dayalı olarak yapılan sipariş büyüklüğü belirleme işlemlerinin hatalı sonuçlar verebildiğini ortaya koymuştur.

Tedarik Süresi

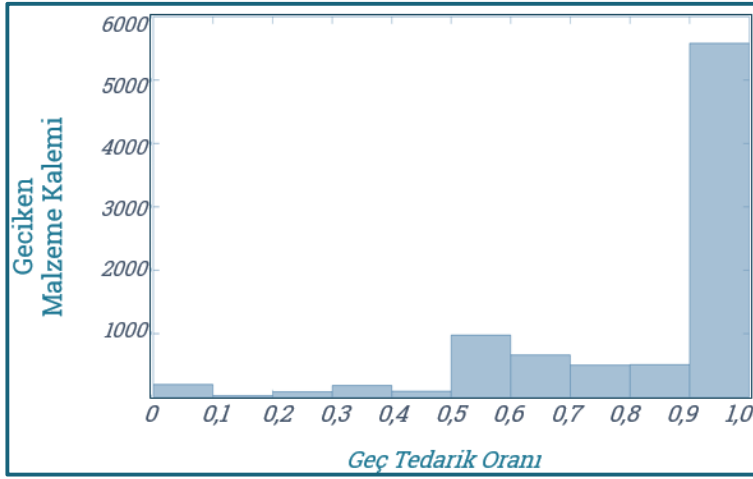
Şirkette kalem bazlı olarak önceden belirlenmiş teorik tedarik süreleri bulunmaktadır. Bu teorik süreler göz önünde bulundurularak üretim planlama mühendisi ihtiyaçların taleplerini açacağı zamanı belirlemektedir. Teorik verilere dayalı planın dışında bir tedarik süresinin gerçekleşmesiyle ihtiyaç duyulan malzemelerin erken ya da geç gelme durumları ve bu durumlara bağlı maliyetler ortaya çıkmaktadır. Malzemelerin erken gelmesiyle birlikte elde tutma maliyeti ortaya çıkar. Öte yandan, malzemelerin geç gelmesi durumunda ise tedarige dayalı yapılan üretim planı aksamakta, hatta projelerin müşteriye teslim tarihlerinde gecikmeler yaşanabilmektedir. 2016 yılının ilk yarısında şirket içerisinde yapılan bir çalışmada, projelerdeki gecikmelerin %25'inin malzeme tedarikinde yaşanan gecikmelerden kaynaklandığı saptanmıştır. Tedarik süreleri, talep-sipariş takip veri setindeki sipariş onay tarihinden siparişlerin şirkete ulaşma tarihine kadar geçen süre olarak alınır. Belirtilen hesaplama yöntemi kullanıldığında Şekil 3'teki histogram elde edilir.

Tablo 1. Malzeme Gruplarına Göre Hurda Oranları

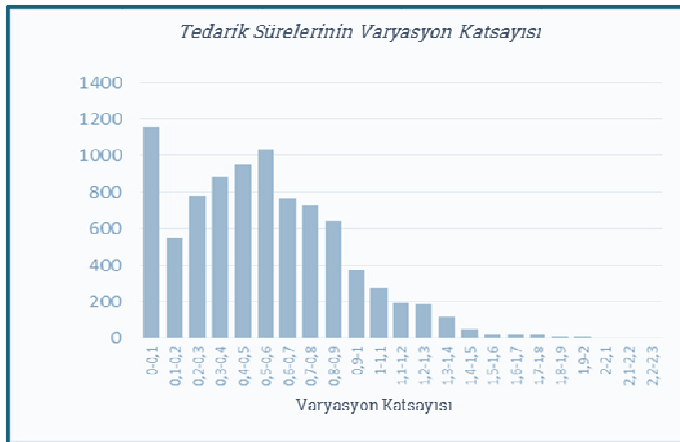
Malzeme Türü	Hurda Oranları								
	>%10	>%20	>%30	>%40	>%50	>%60	>%70	>%80	>%90
Yapıştırıcı (AD)	%50	%41	%31	%28	%21	%18	%12	%6	%4
Kimyasal (CH)	%15	%13	%11	%9	%8	%7	%5	%3	%3
Yağlama (LU)	%16	%14	%13	%11	%6	%5	%3	%3	%3
Plastik (PL)	%9	%8	%6	%5	%4	%3	%3	%2	%2
Boya (PT)	%21	%15	%13	%11	%9	%6	%2	%2	%1
Lehim-Kaynak (SW)	%7	%7	%7	%7	%2	%2	%2	%2	%2
Dizayn (Seri Üretim) (R)	%2	%2	%1	%1	%1	%0	%0	%0	%0

Tablo 2. Malzeme Gruplarına Göre Tedarikçiye İade Oranları

Malzeme Türü	İade Oranları				
	>%10	>%20	>%30	>%40	>%50
Yapıştırıcı (AD)	%19	%14	%10	%7	%4
Kimyasal (CH)	%8	%6	%4	%4	%3
Elektronik (EL)	%2	%1	%1	%1	%1
Yağlama (LU)	%13	%11	%10	%8	%6
Mekanik (MP)	%4	%3	%2	%2	%1
Paketleme (PC)	%1	%1	%1	%1	%0
Plastik (PL)	%6	%3	%3	%2	%2
Boya (PT)	%15	%9	%5	%4	%4
Metal (RW)	%9	%8	%7	%6	%4
Lehim-Kaynak (SW)	%5	%5	%2	%2	%2
Dizayn (Tasarım) (C)	%7	%6	%4	%2	%2



Şekil 3. Geciken Malzeme Kalemi - Malzemenin Siparişlerinin Gecikme Oranları



Şekil 4. Tedarik Sürelerinin Varyasyon Katsayıları

Üzerinde çalışılan 8786 malzeme kaleminin tedariklerinin %90'ından fazlasında, malzemelerin planlanan zamandan geç geldiği gözlemlenmiştir. Bu da gösteriyor ki, şirket içerisinde önceden belirlenmiş ve sabit alınan tedarik süreleri oldukça hatalı sonuçlara yol açmakta ve hatta proje tesliminde gecikmelerine sebep olmaktadır.

Yapılan araştırmaları biraz daha derinleştirerek malzemelerin tedarik sürelerinin uzunluğu ile geç kalma oranları arasındaki varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Şekil 4'te sonuçları görülen analizde, malzemelerin %72'sinin varyasyon katsayısının, eşik değer olan 0.3'ten büyük olduğu saptanmıştır. Bu bulgular ışığında, tedarik sürelerinin, şirket içerisinde kullanıldığı gibi sabit ve belirli kabul edilmesi yerine, rassal olarak değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

Şirket İçi Onay Süresi

Üretim planlama mühendisinin talep açmasıyla başlayan şirket içi onay süresi, sırasıyla talep onayı, sipariş açılma ve sipariş onayıyla devam eder. Talep açılma ile talep onayı Üretim Planlama Müdürlüğü içerisinde, talep onayı ile sipariş açılması arasındaki süre Üretim Planlama Müdürlüğü ile Tedarik Direktörlüğü arasında ve sipariş açılmasından onaylanmasına kadar geçen süre ise Tedarik Direktörlüğü'nde geçmektedir.

Belirtilen bu süreler üzerinde herhangi bir değişim öngörülmemektedir; gerçekleştirilen bu sürelerin istatistiksel analizleri yapılarak, olası süreler hesaplanmıştır. Şirket içi onay süresi olarak adlandırılan bu süreler, sisteme girdi olarak alınarak, geliştirilecek karar destek sisteminde sipariş tarihi ve büyüklüğü gibi değişkenler belirlenirken göz önünde bulundurulacaktır.

Belirtilen problem belirtileri ışığında yapılan çalışmalar sonucu, projenin tanımı aşağıdaki gibi yapılır: “Sartın alınan malzemeler için tedarik sürelerindeki rassallığı, malzemeler arasındaki bağımlılığı, ve raf ömürleri, sabit paket büyüklüğü ile minimum sipariş büyüklüğünü göz önünde bulundurarak anahtar performans göstergeleri olan envanter devir oranını arttırmaya ve tedarik kaynaklı gecikmelerin yanı sıra toplam tedarik maliyetlerini azaltmaya yönelik olarak sipariş büyüklüklerini ve sipariş verme zamanlarını belirlemeye yarayacak bir karar destek sisteminin tasarlanmasıdır.”

4. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Malzemelerin envanter yönetiminde; en küçük sipariş miktarı, sabit paket büyüklüğü ve raf ömrü kısıtlarını göz önünde bulundurarak sipariş büyüklüğü ve sipariş zamanı olmak üzere iki temel karar verilmektedir.

Esnek kaynak kullanımlı malzemelerde, malzemeler arası bağımlılık bulunmadığı için, ilk aşamada sipariş miktarı belirlenirken, ikinci aşamada ise miktarı belirlenmiş siparişin sipariş verilme zamanı belirlenir.

Kesin kaynak kullanımlı malzemelerde, malzemeler arası bağımlılık söz konusu olduğundan, ilk aşamada sipariş verilme zamanı belirlenirken, ikinci aşamada ise sipariş büyüklükleri belirlenir. Aynı iş emrindeki malzemelerin o iş emrinin termin tarihinden önce gelebilmesi için ilk aşamada bu tip malzemelerin sipariş zamanları belirlenir. Her bir iş emri için bu yöntem tekrarlanır. Ortak sipariş zamanına sahip gereksinimler toplandıktan sonra, sipariş verme zamanlarına göre bu gereksinimler en erken sipariş verme zamanından en geç sipariş verme zamanına göre sıralanır. Bu sıralamalar göz önüne

alınarak, bir malzemenin planlama ufku içindeki tüm sipariş büyüklüğü kararları verilir.

Şekil 5’te kesin ve esnek kaynak kullanımlı malzemelerde gerçekleştirilen çözüm yaklaşımlarının aşamaları gösterilmektedir.

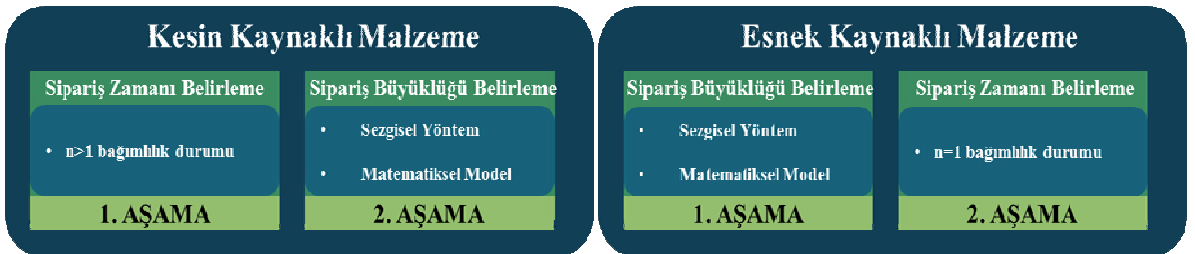
4.1 Literatür Taraması

Sipariş Zamanının Belirlenmesi

Proje çevresine uygunluk açısından literatür taraması yapılmadan önce araştırılacak makalelerin içeriğinde bulunması gereken kriterler belirlendi. Bu kriterler; ARGE şirketlerindeki geniş çaplı projeler ve atölye bazlı üretimin olduğu ortama uygunluk, belirli kesin talepler ve rassal tedarik sürelerine sahip envanter modeli ve malzemeler arası bağımlılıktır.

Belirli kesin talepler, iş emirlerinin açılış zamanlarının ve gereken malzeme miktarlarının belirli olduğunu gösterirken, problem belirtilerinde saptanan tedarik süresinin rassal olması durumu, sabit tedarik süreleriyle çalışılmamasını gerektirmektedir.

“Malzemeler arası bağımlılık”, kesin kaynak kullanımlı malzemeler özelinde malzemeler arası ilişkiye vurgu yapmaktadır. Örneğin, bir iş emrinin açılması için on adet farklı malzemenin mevcudiyeti gerekirken, iş emri termin tarihi düşünüldüğünde, bu malzemelerden birinin bile eksik olmasında iş emrinin başlaması mümkün olamamaktadır. Ronen ve Trietsch (1991), geniş çaplı projelerde malzemeler arası bağımlılığı göz önüne alarak belirli kesin taleplerde rassal tedarik süreleri üzerinden malzeme sipariş zamanı kararları verirler. Önerilen model, iki farklı durum ($n=1 \rightarrow$ bağımlılık yok; $n>1 \rightarrow$ bağımlılık var) için uygulanmıştır.



Şekil 5. Çözüm Yaklaşımının Aşamaları

Sipariş Büyüklüğünün Belirlenmesi

Mevcut sistemin bir diğer problemi olan sipariş büyüklüğü belirleme kararları sistematik bir şekilde alınmamaktadır. Bunun sonucu olarak, satın alınan malzeme kalemlerinde geç tedarik oranları ve ortalama envanter seviyeleri yüksek olmaktadır. Bu sorunları çözebilmek için sistematik olarak sipariş büyüklüğü belirleyecek bir çözüm yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Malzemelere olan talebin belirli olması çözüm yaklaşımımızı belirlemede önemli bir role sahiptir.

Literatürde talebin belirli olması durumunda sipariş büyüklüğü belirlenirken sezgisel yaklaşımları, dinamik programlama ve matematiksel modelleme yöntemlerini kullanan birçok çalışma bulunmaktadır. Blackburn ve Robert (1995), ek-maliyet sezgisellerini çalışmışlar ve mevcut sezgisellerin farklı talep durumlarında farklı sonuçlar vereceğini benzetim modelleri kullanarak göstermişlerdir. Örnek olarak, Freeland-Colley (1982), sezgiselinin dönemsel kesikli talep durumlarında diğer sezgisellere göre toplam maliyet anlamında daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, belirli ve kesikli ancak çok az değişkenliği olan talep durumlarında, Silver-Meal (1973) ve Groff (1979), sezgisellerinin optimale yakın kafiye büyüklükleri vereceğini gözlemlemişlerdir. Parça-dönem-dengeleme sezgiselinin ise genelde en iyi kafiye büyüklüklerinden saptığını, fakat bu sapmanın Wemmerlöw'un (1983) önerdiği LALB (Look-Ahead-Look-Back) testlerinin uygulanmasıyla azaltılabileceğine vurgu yapmışlardır. Okhrin ve Richter (2011), farklı kafiye büyüklüğü kısıtlarından "en az sipariş büyüklüğü" kısıtını göz önünde bulunduran bir dinamik programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu model aslında Wagner-Whitin (1958) algoritmasının güncellenmiş versiyonu olarak görülebilir. Okhrin ve Richter'in (2011) farklılaştığı nokta, durum uzayının en az sipariş büyüklüğünü göz önünde bulundurarak daraltılmasıyla oluşan alt problemlerin en iyi çözümlerinden ana problemin çözümüne ulaşmasıdır. Bu çalışmaların hepsinde kafiye büyüklüğü belirlenirken ard ısmarlamaya izin verilmemektedir. Matematiksel modellerde ise ağ modellemeleri göz önünde bulundurulurken, dönemsel bazda envanter denge ilişkisini içeren, toplam envanter tutma ve sabit sipariş verme maliyetlerini enazlayan

karışık tam sayı modelleri kullanılmaktadır.

4.2 Modelleme

Sipariş Verme Zamanının Matematiksel Modeller ile Belirlenmesi

Sipariş zamanını belirlemede kullanılan model, Bölüm 2.1'de belirlenen kriterlere göre oluşturulmuştur. Bu modelde, esnek ve kesin kaynak kullanımlı malzemelerin farklı doğaları gereği iki farklı model uygulanmıştır. Modellerin dayandığı varsayımlar aşağıda açıklanır:

Varsayımlar

- Rassel tedarik süreleri üssel dağılıma sahip
- Malzemelerin raf ömürleri belirli ve sabit

Modelleme çalışmasında ilk olarak rassal tedarik sürelerinin uygun bir istatistiksel dağılıma oturtma çalışması gerçekleştirilmiştir. Gudum (2012) tedarik sürelerinin dağılımları ile ilgili çalışmasında; Beta, Weibull gibi dağılımlara ek olarak Üssel dağılımın da tedarik sürelerini iyi yansıttığından bahsetmiştir. Çalışmamızda, Üssel dağılımın, modelde kullanılan parametre sayısı açısından hesaplama sürelerinin diğer dağılımlara (Beta, Weibull) göre daha kısa olmasından ve tedarik sürelerini doğru yansıtmada daha uygun olmasından dolayı rassal tedarik sürelerinin Üssel dağılıma sahip olduğu varsayımı yapılmıştır.

Endeks

- i : Bir iş emri içindeki malzeme kalemleri

Parametreler

- t^* : Gereksinim tarihi
- P : Birim ceza (yokluk) maliyeti (aylık)

(Kesin kaynaklı kalemlerin zamanlaması bulunurken; malzeme bağımlılığını göz önünde bulundurmamak amacıyla, iş emrinin içindeki her bir kalem için " P " değeri eşit (o iş emrindeki en büyük birim gecikme maliyeti) alınmıştır.)

- C_i : Birim envanter tutma maliyeti (aylık)
- F_i : i kaleminin tedarik süresi dağılımı
- Kesin kaynaklı kalemler için ek parametreler
 - ▶ S : Bir iş emri içindeki malzeme kalemi grubu (Bağımlı malzeme seti)

Karar Değişkeni

- T_i : i kaleminin sipariş verme zamanı
- Kesin kaynaklı kalemler için ek karar değişkenleri
 - ▶ F_i^- : i kaleminin tedarik süresi dağılımının alt limiti
 - ▶ F_i^+ : i kaleminin tedarik süresi dağılımının üst limiti

$n=1$ Malzeme Durumu (“malzemeler arası bağımlılık yok” durumu)

Bu yöntem, proje kapsamında esnek kaynaklı malzemelerin sipariş zamanı kararlarının verilmesinde kullanılmıştır; çünkü tıpkı $n=1$ durumu gibi esnek kaynak kullanımlı malzemelerde malzemeler arası bağımlılık söz konusu değildir, yani her esnek kaynak kullanımlı malzemeyi tek başına düşünerek sipariş zamanı kararları verilebilir. Bu yöntem literatürdeki “Gazeteci Problemi”ne benzer bir yöntemdir. Bu yöntemde de ürünü elde tutma maliyeti ve ürünün olmaması durumunda yaşanan yokluk (ceza) maliyeti arasındaki ödünleşmeden kaynaklı bir yaklaşım sunulmaktadır. Ancak Gazeteci Problemi belli bir malzeme için uygun sipariş büyüklüğünü belirlerken, $n=1$ durumu uygun sipariş zamanını belirlemektedir. Eğer ilgili malzeme

gereksinim tarihinden önce gelirse elde tutma maliyeti yansırken, o tarihten sonra gelmesi durumunda ise ceza maliyeti uygulanmaktadır. $n=1$ sipariş zamanı belirleme yöntemi, iki maliyet parametresi arasında dengeyi sağlamaya yönelik bir yaklaşımdır.

Amaç Fonksiyonu

$$\min\{C_i \int_{T_i}^{t^*} F_i(t^* - T_i) dt + P \int_{t^*}^{\infty} [1 - F_i(t^* - T_i) dt]\}$$

Yukarıda anlatılanların ışığında uygun sipariş verme zamanı şu şekilde bulunur:

$n > 1$ Malzeme Durumu (“malzemeler arası bağımlılık var” durumu)

$n > 1$ durumu ise malzemeler arası bağımlılığı göz önüne alır. Bu durum, tıpkı kesin kaynak kullanımlı malzemelerde olduğu gibi bir iş emrindeki malzemelerin sipariş verme zamanlarını birbirine bağımlı şekilde gerçekleştirmektedir. İş emrinin termin tarihinden önce ilgili tüm malzemelerinin tedarikliğini kapsamaktadır. Toplam maliyet fonksiyonu, malzemelerin mevcudiyet durumlarına göre sadece elde tutma maliyeti veya ceza maliyetinden oluşmaktadır. Amaç fonksiyonundaki toplam maliyeti oluşturan durumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Amaç Fonksiyonu

$$\min Z(T) = \sum_i C_i * \int_{T_i}^{t^*} F_i dt +$$

[termin tarihine kadar elde tutma maliyeti]

$$0 * \int_{t^*}^{\infty} F_1 * F_2 \dots F_n dt +$$

[bütün malzemeler mevcut: *Durum 1*]

$$\left[P + \sum_{i \neq 1} C_i \right] * \int_{t^*}^{\infty} (1 - F_1) * F_2 \dots F_n dt +$$

[malzeme 1 eksik: *Durum 2*]

$$\left[P + C_1 + \sum_{i \neq 1,2} C_i \right] * \int_{t^*}^{\infty} F_1 * (1 - F_2) * F_3 \dots F_n dt +$$

[malzeme 1 mevcut, malzeme 2 eksik: *Durum 3*]

$$\left[P + \sum_{i \neq 1,2} C_i \right] * \int_{t^*}^{\infty} (1 - F_1) * (1 - F_2) * F_3 \dots F_n dt +$$

[malzeme 1 ve malzeme 2 eksik: *Durum 4*]

·
·
·

$$(P + C_1) * \int_{t^*}^{\infty} F_1 * (1 - F_2) * \dots * (1 - F_n) dt +$$

[malzeme 2 ile n arası eksik]

$$(P) * \int_{t^*}^{\infty} (1 - F_1) * (1 - F_2) * \dots * (1 - F_n) dt +$$

[bütün malzemeler eksik]

Amaç fonksiyonu doğrusal olmadığından ve çözüm yöntemi uzun hesaplama sürelerine yol açtığından dolayı, uygun sipariş zamanı belirlerken yeni bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, sipariş zamanı belirlerken alt ve üst limit belirleme ile başlayıp, bu limitlerin kümülatif dağılım fonksiyonlarının geometrik ortalaması aracılığıyla uygun sipariş zamanının kümülatif dağılım fonksiyonunun elde edilmesiyle devam etmektedir. Bu dağılım sayesinde ilgili sipariş verme zamanı bulunmaktadır.

Geliştirilen sezgiselin algoritması Şekil 6'da paylaşılmıştır.

Sipariş Büyüklüğü Belirleme

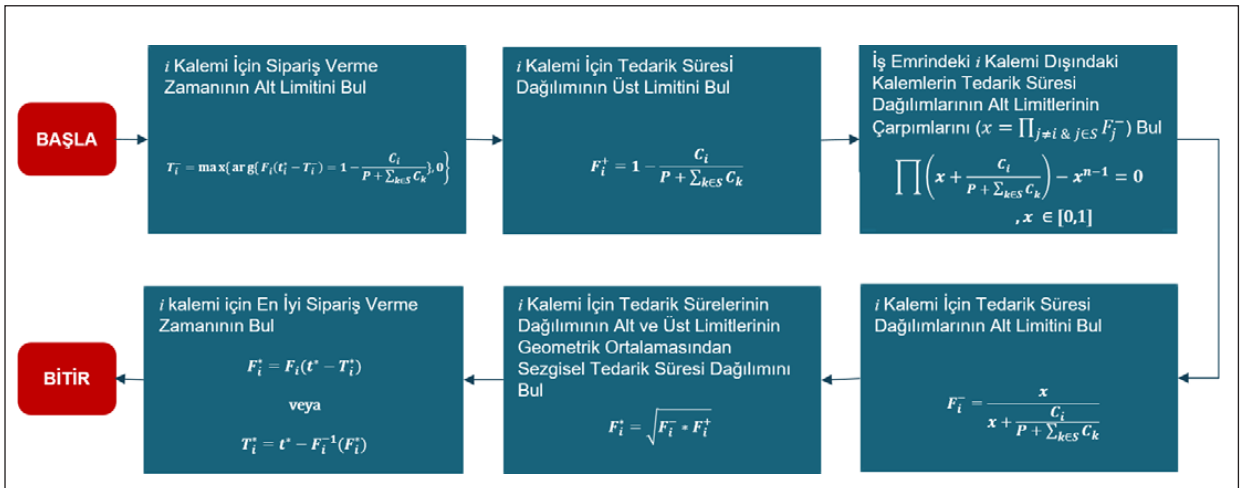
Sipariş büyüklüğü kararları verilirken malzemenin en az sipariş büyüklüğü ve sabit paket büyüklüğü gibi kısıtlarının olduğu durumda matematiksel modeller, olmadığı durumda ise sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Kısıtı Bulunmayan Malzemeler için Sezgisel Yöntemler ile Sipariş Büyüklüğü Belirleme

Bu tip malzemelerin her biri için sipariş büyüklüğü kararları aşağıda açıklanan ek-maliyet sezgisel yöntemlerinden birinin seçilmesiyle belirlenmektedir. Bu sezgisel yöntemler arasından seçme işlemi ise şu şekilde gerçekleştirilir: Sezgisel yöntemin planlama ufku boyunca beklenen toplam sipariş büyüklendirme maliyeti ile, o sezgiselin siparişlerinin sipariş zamanı belirleme modelimizde çalıştırılması sonucu beklenen çizelgeleme maliyetinin toplamını enazlayan sezgisel seçilir. Bu şekilde seçim yapılmasının nedeni, daha önce de belirtildiği gibi, belli sezgisel yöntemlerin belli talep tipi durumlarında daha iyi sonuçlar verebilmesidir.

Endeks

$n =$ periyotlar



Şekil 6. Sipariş Verme Zamanının Bulunması

Parametreler

$d_n = n$ periyodundaki gereksinim miktarı

h = birim envanter tutma maliyeti

S = sabit sipariş verme maliyeti

Groff Sezgiseli (1970)

Sipariş büyüklüğü kararları verilirken, gelecek dönemdeki bir ihtiyacın içinde bulunulan dönemdeki siparişe eklenebilmesi için, o dönemin eklenmesinden kaynaklanan ek envanter tutma maliyetindeki artışın, ek sipariş verme maliyetindeki azalmadan daha az olması gerekmektedir, yani $n \geq 2$ için:

$$h \frac{d_n}{2} \leq \frac{S}{n(n-1)}$$

Freeland-Colley Sezgiseli (1982)

Sipariş büyüklüğü kararları verilirken, gelecek dönemdeki bir ihtiyacın içinde bulunulan dönemdeki siparişe eklenebilmesi için, o dönemin eklenmesinden ve ondan önce içinde bulunulan döneme eklenen dönemlerden kaynaklanan toplam envanter tutma maliyetinin, tek dönemlik sipariş verme maliyetinden daha az olması gerekmektedir, yani $n \geq 2$ için:

$$h d_n (n-1) \leq S.$$

Silver-Meal Sezgiseli (1973)

Sipariş büyüklüğü kararları verilirken, gelecek dönemdeki bir ihtiyacın içinde bulunulan dönemdeki siparişe eklenebilmesi için, dönemlik ortalama maliyette azalma sağlaması gerekmektedir, yani $n \geq 2$ için:

$$d_n \leq \frac{S/h}{(n-1)^2} + \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(j-1)d_j}{(n-1)^2}.$$

Parça-Dönem Dengeleme Sezgiseli (1983)

Sipariş büyüklüğü kararları verilirken, gelecek dönemdeki bir ihtiyacın içinde bulunulan dönemdeki siparişe eklenebilmesi için, o dönemin eklenmesinden doğan toplam ek envanter tutma maliyetinin, içinde bulunulan döneme eklenmemiş olması durumundaki toplam sipariş verme maliyetlerinden daha az olması gerekmektedir.

Kısıtı Bulunan Malzemeler için Matematiksel Model ile Kafiye Büyüklüğü Belirleme

En az sipariş büyüklüğü ve sabit paket büyüklüğü kısıtları gibi kısıtları bünyesinde barındıran malzemele-

rin sipariş büyüklüğü kararları için literatürde var olan sezgisel yaklaşımlar kullanılmadığından dolayı, bu tip malzemeler için sipariş büyüklüğü kararları aşağıda verilen matematiksel model ile belirlenmiştir.

Endeks

j = periyotlar (ay)

Parametreler

$d_j = j$ periyodundaki gereksinim miktarı

m = en az sipariş miktarı

f = sabit paket büyüklüğü

h = birim envanter tutma maliyeti

s = sabit sipariş verme maliyeti

Karar Değişkenleri

X_j : j periyodundaki sipariş miktarı

I_j : j periyodunun sonundaki envanter seviyesi

P_j : j periyodundaki paket büyüklüğü katsayısı

Y_j : 1 eğer j periyodunda sipariş veriliyorsa, diğer durumda ise 0

Amaç Fonksiyonu

$\min z = \sum_j s Y_j + \sum_j h I_j$ [Toplam envanter tutma maliyeti + Toplam sipariş verme maliyetlerini enazla]

Kısıtlar

$$I_j = I_{j-1} + X_j - d_j \text{ her } j \text{ için } (j \neq 1)$$

[j periyodu sonundaki envanter seviyesi; $j-1$ periyodu sonundaki envanter seviyesi ile j periyodundaki sipariş büyüklüğünün toplamından j döneminin ihtiyacının çıkarılmasına eşit olmalı (Envanter denge denklemi)]

$$Y_j m \leq X_j \text{ her } j \text{ için}$$

[j periyodundaki sipariş büyüklüğü en az sipariş miktarına eşit veya ondan büyük olmalı]

$$X_j \geq Y_j \sum_{q=j}^T d_q \text{ her } j \text{ için}$$

[j periyodundaki sipariş büyüklüğü en az j periyodundan itibaren kümülatif ihtiyaç kadar olmalı]

$$X_j = f P_j \text{ her } j \text{ için}$$

[Kafiye büyüklüğü paket büyüklüğünün katları kadar olmalı]

$$X_j, I_j \geq 0, Y_j = 0 \text{ veya } 1, P_j \geq 0 \text{ ve tamsayı, her } j \text{ için}$$

4.3 Modelin Doğrulanması

Bir önceki bölümde anlatılan çözüm yaklaşımı, Matlab® kullanılarak uygulanmıştır. Model, şirket ta rafından sağlanan veri seti ile çözümlenerek doğrulanmış ve modelin analizler için kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kararların verilmesinde etkin olan gözlemlerimiz aşağıda listelenmiştir:

- Toplam verilen sipariş miktarının, toplam gereksinim miktarından büyük veya eşit olması
- Siparişin kapsadığı gereksinimlerin sipariş verme zamanının, o siparişin ilk ihtiyacının gereksinim tarihinden önce olması
- Sipariş büyüklüklerinin, en az sipariş ve paket büyüklüğü kısıtlarına uyması
- Ceza (yokluk) maliyeti arttıkça, sipariş verme zamanının öne çekilmesi
- Sabit sipariş maliyeti azaldıkça, verilen sipariş sayısının artması

5. UYGULAMALAR VE SONUÇLAR

Bu bölümde, önerilen çözüm yaklaşımlarının sonuçları ve analizleri sunulmaktadır.

5.1 Mevcut Sistem ile Önerilen Sistemin Monte Carlo Benzetim Modeli

Proje çalışmalarının başlangıcında, mevcut sistemi anlayabilmek amacıyla birçok analiz yapılmıştır. Yapılan bu analizler, şirketin malzeme envanter yönetiminin ihtiyaçlarını karşılayacak olan sipariş büyüklüğü belirleme ve satın alma planlaması algoritması oluşturulmasına katkı sağlamıştır. Açıklanan algoritma oluşturulduktan sonra, çıktıları ile mevcut sistemin, anahtar performans göstergelerine göre karşılaştırılması ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla, şirketin geçmişe ait Malzeme İhtiyaç Planlaması (MİP) verisi olmadığı için ileriye dönük olarak hazırlanmış MİP kayıtlarına dayanarak bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Monte Carlo Benzetim Modeli Matlab® kullanılarak geliştirilmiştir. Dolayısıyla, algoritma ile sipariş onay çizelgelemesi oluşturmak için esnek kaynak kullanımlı malzemeler (112 malzeme kalemi) ile kesin kaynak kullanımlı malzemelerden (465 malzeme kalemi) oluşan bir planlama grubunun (aynı son ürün için kullanılan proje grupları), 2017 ile 2022

yılları arasını kapsayan, yani ileriye dönük MİP kayıtları kullanılmıştır. Benzetim modelinde; malzeme ihtiyaçlarının yanı sıra, mevcut ve önerilen sistemin sipariş onay çizelgeleri, Üssel dağılımlı tedarik süreleri ve maliyet bilgileri kullanılmaktadır. Bu benzetim modeli 5 yıllık (2017-2022 arası) bir planlama ufku ile 45 kez tekrar edilmektedir. Modelin varsayımları aşağıda verilmiştir:

- MİP gereksinimleri ve tedarik süresi parametreleri 5 yıl boyunca değişmemektedir.
- Ortalama toplam maliyet hesaplanırken paranın bugünkü değeri kullanılmaktadır.
- Sipariş onay çizelgelemeleri sürecinde şirketin öğrenme mekanizması göz ardı edilmiştir. Öğrenme mekanizması için örnek vermek gerekirse; teorik tedarik süresi 2 ay olan bir malzemenin ardışık iki siparişinin tedariki 3 ayda gerçekleşiyorsa, bir sonraki sipariş onayı gereksiniminin tarihinden 3 ay öncesine çizelgelenmesidir.

Monte Carlo benzetiminin ana prensibi, sistem davranışlarını tahmin edecek bilgisayar bazlı bir analitik model oluşturmaktır. Model değerlendirilir ve sistem davranışları defalarca tahmin edilir. Her değerlendirme, girdi parametrelerinin rastgele seçilen durumları baz alınarak yapılır. Bu ana prensip ışığında, her sipariş onayı için, sistemdeki rassallığa sebep olan tedarik süresi parametreleri kullanılarak rastgele bir tedarik süresi üretilir. Üretilen rastgele tedarik sürelerine göre, mevcut ve önerilen sistemin her sipariş onayının tedarik benzetimi yapılır. Benzetim modelinin her bir tekrarının sonunda 5 yıl için tüm malzeme kalemlerinin tedariklerindeki geciken tedarik oranları hesaplanır. Her tekrarda bütün sipariş tedariklerinin varış tarihleri belirlendikten sonra, talepler ve tedarik edilen siparişler eşleştirilerek aylık envanter hareketleri oluşturulur. Daha sonra, gelecek 5 yılda her bir malzeme kalemi için, toplam kullanım miktarları ortalama envanter seviyelerine bölünerek envanter devir oranı hesaplamaları yapılır. Ortalama envanter seviyesi ise daha önce açıklanmış olan Riemann Toplamı yöntemi ile hesaplanır. Ayrıca maliyet ile ilgili performans göstergesi olarak; her bir malzeme kalemi için, erken tedariklerin sebep olduğu elde tutma maliyetleri, geç tedariklerin sebep olduğu ceza maliyetleri, sabit sipariş verme maliyetleri ve siparişlerin birleşti-

rilmesinden kaynaklı elde tutma maliyetleri toplanır ve böylece toplam maliyet hesaplanır.

5.2 Anahtar Performans Göstergelerinde Beklenen Sonuçlar

Envanter Devir Oranlarındaki İyileştirmeler

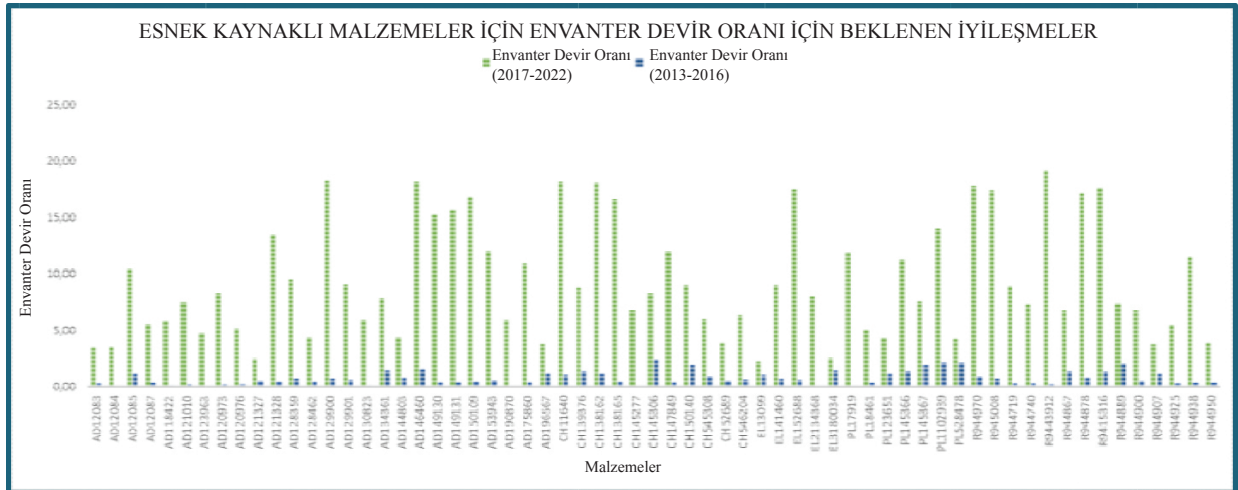
Benzetim modelinin bir sonucu olan ilk performans göstergesi envanter devir oranıdır. Şekil 7, esnek kaynak kullanımlı malzemeler için 45 tekrarlı sonuç elde edilen ortalama envanter devir oranlarının, 2013 ile 2016 yılları arasındaki geçmiş envanter devir oranlarıyla karşılaştırılmasını ve bu malzemeler için envanter devir oranlarındaki beklenen iyileştirmeleri içermektedir. Elde edilen sonuçların geçmiş bilgilerle kıyaslanmasının sebebi; esnek kaynak kullanımlı malzemelerin tedariklerinin çoğunlukla gecikmiş olmasıdır. Öte yandan, eğer geciken tedariklerde yer alan malzemelerin şirkete ulaştığı anda kullanılıp tüketildiği varsayılsaydı, ortalama envanter seviyeleri çok düşük olarak hesaplanırdı ve sonuç olarak şişirilmiş envanter devir oranları elde edilirdi. Şekil 7’de görüldüğü gibi, esnek kaynak kullanımlı malzemelerin hepsinin envanter devir oranlarında yüksek bir artış beklenmektedir. Esnek kaynak kullanımlı malzemelere benzer bir şekilde, kesin kaynak kullanımlı malzemeler için envanter devir oranı karşılaştırmaları Şekil 8’de verilmektedir. Ancak bu defa, karşılaştırmalar 2017 ile 2022 yılları arasındaki hesaplamalara göre yapılmıştır. Bu malzemelerin yaklaşık %95’inin envanter devir oranlarında iyileşme beklenmektedir.

Şekil 7 ve Şekil 8’deki yeşil çubuklar önerilen sistem kullanıldığı takdirde beklenen envanter devir oranlarını gösterirken; lacivert çubuklar esnek kaynak kullanımlı malzemeler için geçmiş envanter devir oranlarını, kesin kaynak kullanımlı malzemeler için ise mevcut sistem ile devam edilmesi durumunda elde edilecek envanter devir oranlarını göstermektedir.

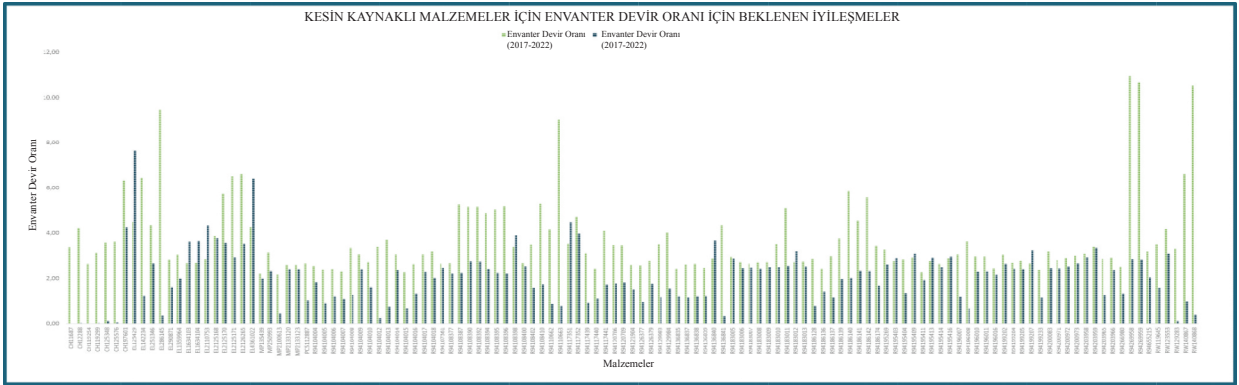
Malzemelerin Geciken Tedarik Oranlarındaki İyileştirmeler

Benzetim modelinin bir diğer sonucu olan performans göstergesi ise geç tedarik oranıdır. Analizi yapılan kesin kaynak kullanımlı malzemelerin mevcut sisteme göre ortalama %25’inin tedarikinde gecikme beklenmektedir. Bu gecikmelerin oransal dağılımı Şekil 9’da görülmektedir. Histogramın yatay ekseninde malzemelerin tedariklerindeki gecikme oranlarının aralığı yer almaktayken, dikey eksen bu aralıklarda bulunan malzeme sayısını göstermektedir. Önerilen sistemde ise 45 tekrarlı sonuçunda hiçbir gecikme beklenmemektedir.

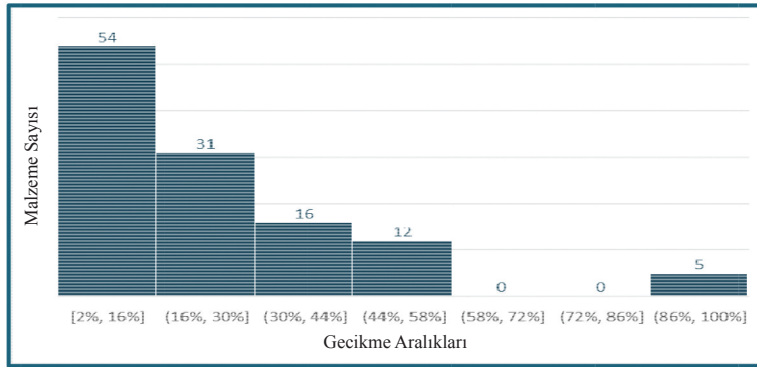
Esnek kaynak kullanımlı malzemelerde ise önerilen sistem malzemelerin yaklaşık %5’inde gecikme beklenmekteyken, mevcut sistemde bu oran %80’i aşmaktadır. Bu gecikmelerin oransal dağılımı Şekil 10’da görülmektedir. Şekillerden görülebileceği üzere, önerilen sistem bir malzemenin tedarikleri için en fazla %21 oranında gecikme oluşturmaktayken mevcut sistemde bu oran %66’dır.



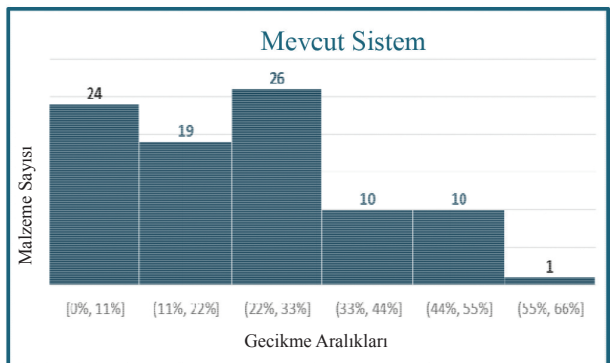
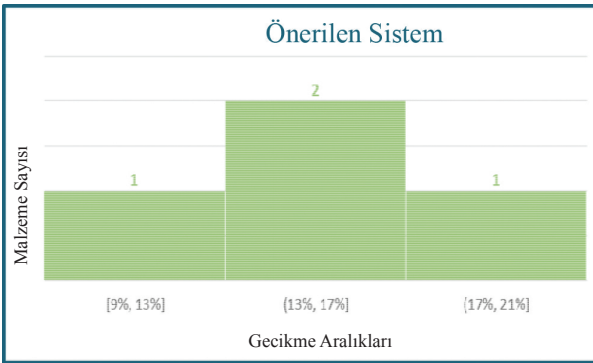
Şekil 7. Esnek Kaynak Kullanımlı Malzemeler İçin Envanter Devir Oranı Karşılaştırması



Şekil 8. Kesin Kaynak Kullanımlı Malzemeler İçin Envanter Devir Oranı Karşılaştırması



Şekil 9. Kesin Kaynak Kullanımlı Malzemelerin Geç Tedarik Oranları Dağılımı



Şekil 10. Esnek Kaynak Kullanımlı Malzemelerin Geç Tedarik Oranları Dağılımı

Toplam Maliyetteki İyileştirmeler

Son sonuç analizi ise maliyetler cinsinden yapılmıştır. Bu analiz için ilk olarak MiniTab® kullanılarak eşlenik *t*-testi yapılmıştır. Yapılan 45 tekrar sonucunda elde edilen mevcut ve önerilen sistem maliyetleri arasındaki

fark alınarak maliyetteki toplam azalma hesaplanmıştır. Ortalama olarak, esnek kaynak kullanımlı malzemelerde %38 oranında (1.233.938,37 \$) bir maliyet düşüşü gözlemlenirken, bu oran kesin kaynak kullanımlı malzemelerde %48 oranında (2.670.069,17 \$) seyretmektedir.

%95 güven aralığı kullanılarak yapılan maliyet düşüşü analizi Tablo 3'te görülmektedir. Her iki malzeme grubu için de "0" değeri, alt limitin de altında kaldığı için sistemde belirgin bir maliyet düşüşü beklenmektedir.

İrilenmesini ve farklı servis seviyelerine göre benzetim yapılmasını sağlamaktadır.

Bu adım tamamlandıktan sonra arayüzün ilk sekmesinde, kullanıcının herhangi bir aciliyet kısıtı girmeksiz

Tablo 3. Mevcut ve Önerilen Sistemlerin Maliyet Karşılaştırması

Esnek Kaynaklı Malzeme		Kesin Kaynaklı Malzeme	
%38 (Maliyette Azalma)		%48 (Maliyette Azalma)	
%95 Güven Aralığı		%95 Güven Aralığı	
Alt Limit	Üst Limit	Alt Limit	Üst Limit
836,653.03 \$	1,631,223.70 \$	2,666,154.15 \$	2,673,984.18 \$

6. UYGULAMA VE KULLANICI ARAYÜZÜ

Proje ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında, yapılan analizler ve önerilen çözümlerin üretim planlama mühendisleri tarafından kolay ulaşılabilir olması amacıyla, geliştirilen çözüm yaklaşımı ile benzetim modellemesinin birlikte içerildiği bir karar destek sistemi sunulmaktadır. Şekil 11'de şematik olarak gösterilen bu karar destek sistemi, ilk işlem olarak şirkette kullanılmakta olan Oracle ERP sisteminden Malzeme İhtiyaç Planını (MİP) alır, ve ardından çözüm yaklaşımlarını Matlab® vasıtasıyla uygular; son olarak kullanıcı, Microsoft Excel VBA ile oluşturulan 3-sekmeli bir arayüz vasıtasıyla istenilen sonuçları görüntüleyebilir.

Bu arayüz, ilk olarak, daha önceki bölümlerde belirtilmiş olan güncel bilgileri kullanarak, Matlab® aracılığıyla uygun sipariş büyüklüğü ile tarihinin be-

zin seçtiği veya kodunu girdiği malzemenin, Malzeme İhtiyaç Planlaması kayıtları dahilinde bulunan bilgiler doğrultusunda;

- uygun sipariş tarihleri,
- üretimdeki gereksinim tarihleri,
- sipariş büyüklüğü ve ölçü birimleri listelenir (Şekil 12).

İkinci sekmede ise kullanıcı, "Planlama Ufku" isimli alana ay bazında bir süre girerek, yalnızca o günden itibaren girilen planlama ufku içerisinde siparişini vermesi gereken malzemeleri listeleyebilmekte ve bu listeden seçtiği malzemenin ilk sekmede bahsedilen bilgilerini görebilmektedir (Şekil 13).

İlk iki sekmede, sol alt köşede yer alan "Bürokratik Süre" isimli alanda ise kullanıcı, Üretim Planlama



Şekil 11. Karar Destek Sisteminin Temsili

Müdürlüğü'nde, Tedarik Direktörlüğü'nde ve bu iki departman arasındaki olası süreyi; proje dahilinde yapılmış olan şirket içi süre analizinden faydalanarak, gün, ay ve/veya yıl biçiminde girerek sipariş tarihinin girilen bu süre kadar öne çekilmesini sağlayabilir ve böylece daha sağlıklı bir sonuç elde edebilir.

Son sekme olan “Simülasyon” (Benzetim) sekmesinde ise kullanıcı, seçtiği veya kodunu girdiği malzemenin, istenen “servis seviyesi”nde oluşabilecek

- envanter devir oranını,
- geç tedarik oranını ve
- kısırlımlı olarak toplam maliyet performansını

inceleyebilmektedir. Servis seviyesi, rassal tedarik süresine sahip malzemelerin zamanında gelip gelmediğini yüzde olarak gösteren bir ölçüdür.

Buna ek olarak, Şekil 14'te de görüldüğü gibi, kullanıcı, belirttiği servis seviyesinde (örneğin 0,95) sergilenen performans bilgilerini pano adlı alana kopyalayarak, aynı malzemenin farklı bir servis seviyesinde (0,85) sergileyeceği performans değerleri ile panodaki bilgileri kıyaslayabilmektedir.

7. SONUÇ

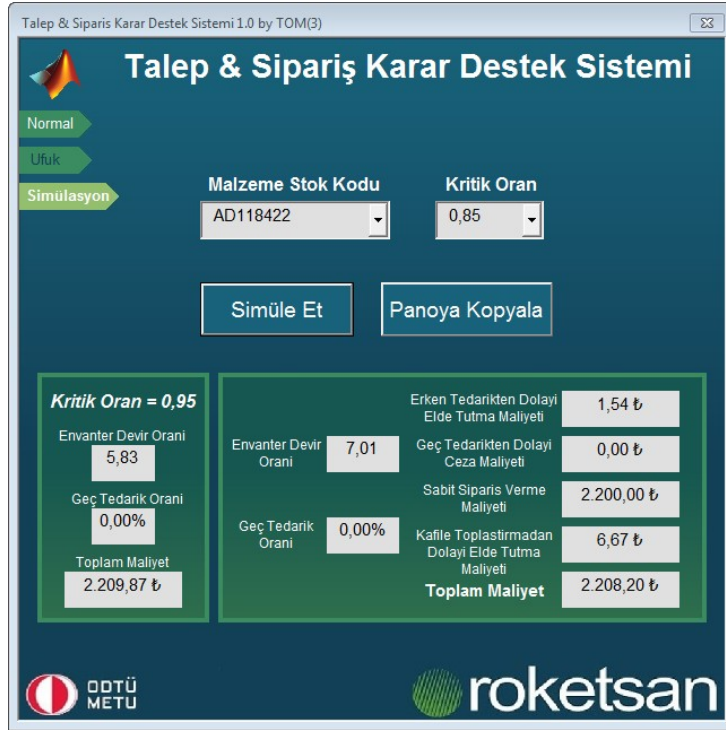
Bu çalışmada, şirketin mevcut malzeme envanter yönetim sistemi gözden geçirilmiş ve problemler tespit edildikten sonra çözüm yolları aranmıştır. Bu çalışmalar sonucunda da uygun sipariş büyüklüğü ve zamanlamalarını belirlemeye yönelik matematiksel ve sezgisel modeller, malzeme sınıflarının özelliklerini ve tedarikçi kısıtlarını göz önünde bulundurarak geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Geçmiş ve ileriye dönük verilerle yapılan karşılaştırmalar sonucunda önerilen sistemin kritik performans göstergeleri açısından, mevcut sistemden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın ileriki aşamala-



Şekil 12. Kullanıcı Arayüzü İlk Sekme Görünümü



Şekil 13. Kullanıcı Arayüzü İkinci Sekme Görünümü



Şekil 14. Kullanıcı Arayüzü Üçüncü Sekme Görünümü

rında; mevcut incelenen veri setlerinin genişletilip daha kapsamlı çalışmalarda kullanılmasına imkân verilmesi, oluşturulan karar destek sisteminin şirkette etkin kullanılmasıyla ilgili bilgilendirme yapılması önerilir.

KAYNAKÇA

1. **Blackburn, J. D., Robert, A. M.** 1985. "A Methodology for Predicting Single-Stage Lot-Sizing Performance: Analysis and Experiments," *Journal of Operations Management*, vol. 5, p. 433-448.
2. **Freeland, J. R., Colley, J. L.** 1982. "A Simple Heuristic Method for Lot-Sizing in a Time-Phased Reorder System," *Journal of Production and Inventory Management* vol. 23, p. 15-22.
3. **Groff, G. K.** 1979. "A Lot-Sizing Rule for Time Phased Component Demand," *Journal of Production and Inventory Management*, vol. 2, p. 234-251.
4. **Gudum, C. K.** 2002. "On the Distribution of Lead Time Delay in Supply Chains," http://openarchive.cbs.dk/bitstream/handle/10398/6737/preprint5_2002_connie.pdf?sequence=1, son erişim tarihi: 03.03.2017.
5. **Levy, N. S., Ronen, B.** 1989. "Purchasing and Raw Materials Management in Science-based Industries," *Journal of Materials and Product Technology* vol. 4, p. 1-9.
6. **Okhrin, I., Richter, K.** 2011. "The Linear Dynamic Lot Size Problem with Minimum Order Quantity," *International Journal of Production Economics*. vol. 133, p. 688-693.
7. **Ronen, B., Trietsch, D.** 1991. "Optimal Scheduling of Purchasing Orders for Large Projects," *European Journal of Operational Research* vol. 68, p. 185-195.
8. **Silver, E.A., Meal, H. C.** 1973. "A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment," *Journal of Production and Inventory Management*, vol. 14, p. 64-74.
9. **Wemmerlöv, U.** 1983. "The Part-Period Balancing Algorithm and its Look Ahead-Look Back Feature: A Theoretical and Experimental Analysis of a Single Stage Lot-Sizing Procedure," *Journal of Operations Management*, vol. 4, p. 23-40.