

DAHİLİ İMALAT PARÇA YÖNETİMİ: "EVİNDE ÜRET, SİSTEMLİ YÖNET"¹

Can DALOKAY, Gonca ERTÜRK, İlkay Sarp KAÇAR,
Onur ÜNLÜÖNEN, Gizem YAZICI, Osman ALP

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

MAN Türkiye A.Ş. fabrikası bünyesindeki dahili imalat birimi, montaj hatlarında kullanılmak üzere birçok parça üretmektedir. Üretilen dahili imalat parçaları, montaj hattına girmeden önce ambarlarda stoklanmaktadır. Bu parçalara ihtiyaç duyulduğu anda, parçalar görevliler tarafından ambarlardan alınıp ilgili montaj hattına sunulmaktadır. Bu proje kapsamında, dahili imalat parçalarının yönetimine yönelik üç alt problem çözülmüştür: (i) envanter kontrol politikalarının belirlenmesi, (ii) depo yerleşim planlarının belirlenmesi, ve (iii) bazı parçaların hareketleri için Kanban stratejisinin uygulanması. Gerçekleşmiş kullanım verileri ile yapılan benzetim koşulları sonucunda, önerilen çözüm yöntemlerinin sistem performansına iyileştirdiği gösterilmiştir. Önerilen stok kontrol modelinin çözümü, belirli aralıklarda güncel veriler ile koşturulabilecek ve fabrikadaki mevcut ERP sistemi ile uyumlu olan bir yazılım ile sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Envanter, Dahili İmalat, Kanban, Depo İçi Yerleşim

ABSTRACT

The in-house parts manufacturing facility of MAN Türkiye A.S., produces several items that feed the assembly line. In-house parts are stocked in warehouses before they enter the assembly lines. Whenever an in-house part is demanded by the assembly line, the part is retrieved from the warehouse and fed into the line. In this project, three subproblems on the management of in-house parts have been solved: (i) determination of the inventory control policies, (ii) determining the best locations of items in the warehouses, and (iii) adoption of Kanban strategy for the movement of some items. Simulation runs based on actual data show that proposed solution alternatives improves the system performance in general. A software which can be used to update the inventory control policy parameters with up-to-date data and which is also compatible with the current ERP software has been developed.

Keywords: Inventory, In house production, Kanban, Warehouse Design

¹ Bu proje, Koç Üniversitesinde düzenlenen 25. Ulusal YA/EM Kongresi kapsamında yapılan "Öğrenci Makalesi" yarışmasında ikincilik, 2005 yılı Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Proje Fuarı yarışmasında üçüncülük kazanmıştır.

Koç Üniversitesinde düzenlenen XXV. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresinde lisans öğrencilerinin bilimsel araştırma çabalarını teşvik etmek amacıyla bir araştırma yarışması düzenlenmiştir. Bu yarışmada ikincilik ödülü kazanan çalışmayı ilgili öğretim üyesinin de katkılarıyla düzenlenmiş haliyle yayın politikası doğrultusunda yayınlıyoruz.

GİRİŞ

MAN Grubu 14 Milyar Avro'luk cirosu ve dünya çapında yaklaşık 64.000 çalışanı ile ticari araç, baskı makineleri, dizel motorlar, turbo makineleri ve endüstriyel hizmet alanlarında faaliyet göstermektedir. MAN Grubu dahilinde ticari araç üretimi ile öne çıkan MAN Türkiye, özellikle seyahat ve belediye otobüsü tasarım, geliştirme ve üretimi ile kamyon üretimi alanlarında önemli rol oynamaktadır. Kırkı aşkın ülkeden gelen talebi karşılayabilmek amacıyla kapasiteyi arttırmaya yönelik gerçekleştirilen "Evolution 2004" projesi sonucunda, 300.000 m²'lik alana yayılan fabrika şu an itibarıyla yılda 2000 otobüs üretebilecek kapasitededir. Ürünlerin %85'i başta Avrupa ve Ortadoğu'ya ihraç edilmekle beraber, iç piyasada da firma her geçen gün etkinliğini artırmaktadır. Bunun yanı sıra MAN Türkiye A.Ş. kamyon, çekici ve askeri araçların üretim ve ithalatıyla beraber, grubun dünya çapındaki diğer tesislerinde tamamlanmak üzere yarı mamul halde otobüs de üretmektedir. Firmanın şu an itibarıyla yaklaşık 500 beyaz yaka ve 2000 mavi yaka çalışanı bulunmaktadır. Bu çalışmada, MAN Türkiye otobüs fabrikasının montaj hattını besleyen dahili imalat parçalarının stok yönetiminin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

PROBLEM TANIMI

MAN Türkiye fabrikası bünyesindeki dahili imalat birimi, montaj hatlarında kullanılmak üzere birçok parça üretmektedir. Bu parçalar "dahili imalat parçaları" olarak adlandırılmaktadır. Dahili imalat parçalarının temin süreleri gözönünde bulundurulduğunda bu parçaları depolama ihtiyacı doğmuştur. Dahili imalat parçaları yeni düzenlenmiş olan 04H ve 03H adlı ambarlarda depolanmaktadır. Ancak parça devir hızlarının düşük olması sebebiyle adı geçen ambarlarda yüksek stoklar oluşmaktadır. Bu nedenle ambarlarda fiziksel kapasite aşımı da söz konusudur.

Bunun yanı sıra, ambarlardaki mevcut yerleşim düzeni parçalara ulaşma süresini artırmakta ve yoğun

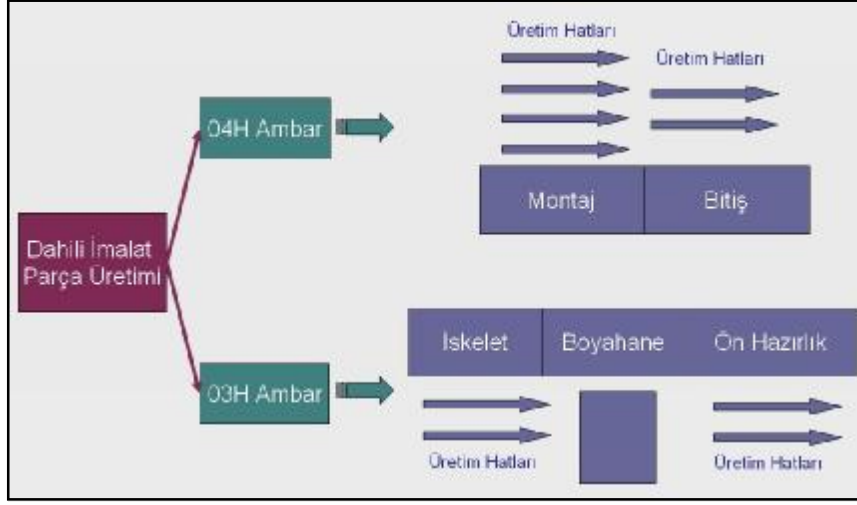
forklift trafiğine neden olmaktadır. Ayrıca, dahili imalat parçalarının akış sistemlerinde uygulanabilecek alternatif stratejiler aracılığı ile, parçaların montaja teslim süresi açısından, sistem performansının artırılacağı tespit edilmiştir.

Bu bağlamda, yürütülen projenin ana hedefi dahili imalat parçaları için en uygun envanter politikasının belirlenmesidir. Firmanın öncelikli beklentisi, stok ömür sürelerinin düşürülmesi ve ihtiyaç duyulduğu anda parçaların stokta bulunma oranlarında yüksek düzeylere ulaşabilmesidir. Bu beklenti doğrultusunda firma, değişik performans ölçütleri için, duyarlılık analizleri yardımı ile karar süreçlerini desteklemeyi hedeflemektedir. Ayrıca, alternatif parça akış sistemlerinin uygulanması ve ambarlar dahilinde parça erişim sürelerinin düşürülmesi diğer alt hedefler olarak tanımlanmıştır.

ANALİZ

MAN Türkiye fabrikasında otobüs montajı, yurtiçi ve yurtdışından satın alınan malzemeler ve dahili imalat parçaları aracılığıyla tamamlanmaktadır. Bu kapsamda Lojistik Departmanı otobüs üretimi için bir hizmet birimi olarak görevini sürdürmekte ve dahili imalat parçalarını doğru zamanda, doğru miktarda, doğru yerde ve doğru kalitede montaj hattına sunmayı hedeflemektedir. Akış kısaca şöyle özetlenebilir: Dahili imalat biriminin ürettiği parçalar dahili imalat parça ambarlarına gönderilmekte, daha sonra montaj hatlarının ihtiyacı doğrultusunda parça talepleri karşılanmaktadır. Bu çerçevede 03H ambarı montajın iskelet, boyahane ve ön hazırlık hatlarını beslerken, 04H ambarı ise iç süsleme ve bitiş hatlarını beslemektedir (bkz Şekil 1).

Mevcut durumda dahili imalat parça planlaması şu şekilde yapılmaktadır: Planlama birimi üçer haftalık periyotlardaki talepleri ERP sisteminden temin etmekte ve bu talepleri envanter durumu ile karşılaştırarak kişisel yargılar doğrultusunda manüel olarak üretim iş emri açmaktadır. Ancak bu yöntem temin süreleri, performans ölçütleri (raf ömrü, raftan dolum oranı, depolama maliyetleri vb.) ve parça talebindeki rassallığı



Şekil 1. Üretim Akışı

gözönüne almamakta ve emniyet stoku tutulmasına olanak sağlamamaktadır. Mevcut planlama ve stok kontrol metotları sonucunda, örnekleme yapılarak seçilmiş 1350 parça için hesaplanmış olan 105 günlük raf ömrü ve yaklaşık 390.000 Avro'luk yıllık envanter değeri, sistemin iyileştirme potansiyelinin bulunduğu işaret etmektedir. Firmanın bir diğer şikayeti ise yüksek stoklar nedeniyle ambarların istenilen verimde kullanılmıyor olması ve bu durumun alternatif maliyetler ortaya çıkarmasıdır ki, bu şikayet de gözlem sonuçlarını destekler niteliktedir. Bu açıdan ele alınacak olursa her parça sınıfı için uygun bir envanter politikası belirlenmesi ve fabrikanın operasyonel kısıtları ve istekleri doğrultusunda belirlenen bu politikanın uygulanması gerekir.

Dahili imalat parça ambarları dahilinde, parça erişim sürelerinin azaltılması diğer bir hedef olarak tanımlanmıştır. Yapılan görsel incelemeler ve veri analizleri sonucunda, ambarlarda çok sayıda forklift hareketi yapıldığı ortaya çıkmış ve buna paralel olarak parça erişim sürelerinin de arttığı tespit edilmiştir. Mevcut sistemde 03H ve 04H ambarlarında forkliftler tarafından, 8 saatlik bir vardiya boyunca parçalara ulaşmak için ambar içerisinde yapılan dikey ve yatay hareketlere harcanan toplam sürenin sırasıyla 19 ve 54 dakika olduğu hesaplanmıştır. Bu sürelerin

kısıtlanabilmesi için ambar yerleşim planlarının gözden geçirilmesi ve bilimsel yöntemlerle yeniden belirlenmesi gerekir.

Son olarak, yüksek talep frekansına sahip küçük boyutlu parçaların, montaj hattının yakınında stoklanması yerine, her defasında ambarlardan montaj hattına gönderilmesinin iş gücü ve hattın sürekliliği açısından verimsiz olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, bu parçalar için mevcut sistemde toplam aylık taşıma uzaklığının yaklaşık 90 km. olduğu görülmüştür. Yine bu sürenin azaltılabilmesi için alternatif parça akış yöntemlerinin hayata geçirilmesi gerekir.

Proje çalışmaları doğrultusunda, bahsedilen alt problemlerin çözümüne yönelik ayrıntılı bir literatür çalışması yapılmış ve literatürdeki modeller MAN Türkiye fabrikasının üretim yapısına uygunluklarına göre değerlendirilmiştir.

ÖNERİLEN YÖNTEMBİLİM

Yukarıda belirtilen analizler ışığında, mevcut sistemin iyileştirilmesi için öncelikle dahili imalat parçalarının dinamiğinin anlaşılması gerekmektedir. Bu çerçevede projenin ilk adımlarını görsel incelemeler ve veri analizi oluşturmuştur. Veri analizinin ilk sonucu olarak bazı

parçaların mevcut ürün ağaçlarında bulunmamasına karşın ambarlarda depolandığı gözlemlenmiştir. Bu parçalar listelenerek firmaya iletilmiş ve firma tarafından gerekli çalışma yapılmıştır. Bu analizler doğrultusunda proje çalışmaları üç ana başlık altında devam etmiş ve tamamlanmıştır.

Rassal Envanter Modeli

Veri analizinin bir diğer önemli sonucu parça taleplerinin rassal bir yapısı olduğunun anlaşılmasıdır. Rassallık, üretim planlarında yapılmakta olan sık değişiklikler sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu değişiklikler pazardaki eğilim, müşteri talepleri ve tedarikçi kısıtları doğrultusunda gerçekleşmektedir. Ayrıca ürün çeşitliliği ve müşteriye özel istekler de rassal talep oluşumunu destekleyen diğer önemli etkenlerdir.

Envanter Modelinin Belirlenmesi

Her ne kadar üretim planlama faaliyetleri, firma tarafından yürütülen belirli tahmin modellerine dayansa da, üçer haftalık dönemler halinde yayınlanan talep tahmin değerleri sıkça ve bazen gün be gün değişebilmektedir. Bir başka deyişle, üretim miktarları ve dolayısıyla ambarlarda tutulan dahili imalat parçalarına olan talep, sabitlenmiş talep tahminlerine dayanan deterministik bir yapıda değil sıklıkla değişim gösterebilen rassal bir yapıdadır.

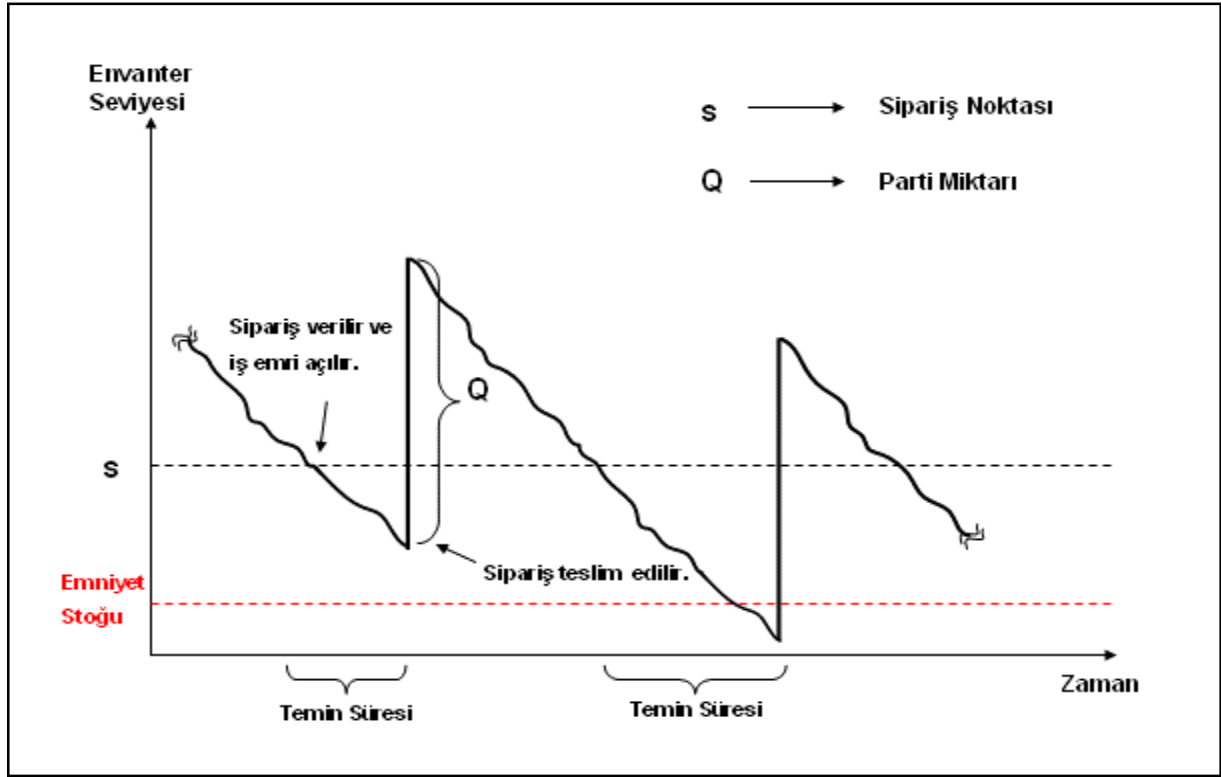
Ayrıca dahili imalat birimi kendi üretim süreçlerini her bir parça için belli parti büyüklüklerine göre ayarlamıştır. Bir başka deyişle, dahili imalat birimi mevcut sistemde, parça üretimlerinde değişken parti miktarları ile çalışabilecek nitelikte değildir. Dahili imalat biriminin üretim süreçleri proje kapsamı dışında olduğu için, bu yapıya herhangi bir müdahale yapılmak istenmemiştir. Dolayısıyla, ambar tarafından dahili imalat birimine verilecek olan siparişlerin belirli parti büyüklükleri cinsinden olacak şekilde ayarlanmasının, firmanın operasyonları açısından en uygun yöntem olacağı tespit edilmiştir.

Buradan yola çıkarak, öncelikle dahili imalat parçaları için bir ABC analizi yapılmış ve yüksek frekans

ve/veya yüksek maliyetli parçalar belirlenmiştir. Bu parçalar için hem talepteki rassallığı dikkate alabilecek hem de dahili imalat parça üretiminin belli bir parti büyüklüğü cinsinden yürütülmesini sağlayacak ve literatürde (s, Q) politikası olarak bilinen envanter modeli uygun görülmüştür. Bu modele göre, bir parça için envanter pozisyonu, temin süresi boyunca oluşan parça talebinin olasılık dağılımı gözönünde bulundurularak hesaplanmış s değerinin altına düştüğü takdirde, Q kadarlık bir parti miktarı sipariş edilmelidir. Bu mekanizma basit olarak Şekil 2'de görüldüğü gibi işlemektedir.

Modelin üretim yapısına en uygun çıktıyı vermesi açısından s ve Q değerlerinin doğru bir şekilde hesaplanması önem arz etmektedir. Her bir parça için hesaplanması gereken bu değerler, temin süresi boyunca gerçekleşen talebin olasılık dağılımına bağlıdır. Silver v. d. (1998) Normal dağılımın özellikle varyasyon katsayısı (standart sapma değerinin ortalama değerine oranı) 0.5'den küçük olan talep verilerinin bahsi geçen olasılık dağılımlarının modellenmesinde kullanılmasının iyi bir yaklaşıma olacağını belirtmektedir. Yine aynı kaynak, günlük talep dağılımı Normal dağılım olmasa bile birçok günden oluşan temin süreleri boyunca gerçekleşen talep dağılımının modellenmesi için Normal dağılımın kullanılabileceğini kaydetmektedir. Burgin (1975) ise varyasyon katsayısı 0.5'den büyük olan talep verilerinin modellenmesinde Gamma dağılımının kullanılabilmesini belirtmiştir. Bu görüşler doğrultusunda, proje kapsamında ele alınan her bir parça için varyasyon katsayısı hesaplanmış, kritik 0.5 değerine göre parçaların temin süresi talepleri Normal ya da Gamma dağılım olarak sınıflandırılmış ve ilgili dağılım parametreleri hesaplanmıştır. Olasılık dağılımlarının belirlenmesinden sonra s ve Q değerlerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamalarda kullanılan notasyon Tablo 1'de özetlenmiştir.

(s, Q) politikasının parametrelerinin belirlenmesinde izlenecek yöntem, firma yetkililerinin belirleyeceği ve ulaşılabilecek hedeflenen kriterlere göre değişkenlik



Şekil 2. (s, Q) Politikası

Tablo 1. Notasyon Özeti

D :	Günlük talep (parça adedi olarak)
x_L :	Temin süresi boyunca gerçekleşen ortalama talep (parça adedi olarak)
σ_L :	Temin süresi boyunca gerçekleşen talebin standard sapması
k :	Emniyet katsayısı
L :	Temin süresi (gün olarak)
$p_u(k)$:	Standart Normal dağılıma sahip bir değişkenin " k " değerine eşit veya daha büyük bir değer alması olasılığı
Q :	Parti miktarı
s :	Sipariş verme noktası
P_2 :	Raftan dolun oranı
SS	Emniyet stoğu
SL	Raf ömrü
ESPRC	Yeniden doldurma döngüsü boyunca beklenen eksik parça bildirim oranı

gösterebilir. Örneğin amaç fonksiyonu maliyetlerin minimize edilmesi olan bir yapı altında, her iki parametrenin aynı anda optimize edilmesi yöntemi seçilebilir. Öte yandan belli bir hizmet düzeyinin tutturulmasını hedefleyen bir kriter altında ise önce parti büyüklüğü miktarı sezgisel yöntemlerle belirlenip, bu parti büyüklüğü değeri altında hedefe ulaştıran sipariş verme noktası değerinin bulunması yöntemi de izlenebilir. Yürütmüş olduğumuz proje kapsamında ilgili kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda firmanın, uygulanacak olan envanter politikası ile iki ana hedefe ulaşmak istediği anlaşılmıştır. Bu hedeflerden bir tanesi envanter raf ömür sürelerinin istenilen düzeylere çekilmesi ve mevcut duruma göre kayda değer oranlarda azaltılmasıdır. İkinci hedef ise raftan dolmuş oranlarının istenilen düzeylere yükseltilmesidir.

Parti Büyüklüklerinin (Q) Belirlenmesi:

Firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler çerçevesinde parçaların raf ömürlerinin aşağıdaki formül ile hesaplanmasına karar verilmiştir:

$$SL = Q / D \quad (1)$$

Bu formülde geçen raf ömrü değeri (SL), her bir sipariş döneminde dahili imalat birimine verilecek olan sipariş miktarının ortalama olarak kaç gün depoda duracağını belirlemektedir. Firma yetkilileri kendi istekleri doğrultusunda ister her bir parça için ayrı ayrı ister tüm parçalar için ortak bir raf ömrü hedefi belirleyeceklerdir. Bu hedefe ulaştıracak parti miktarları her bir parça için (1) numaralı denklem ile kolayca hesaplanabilir.

Yeniden Sipariş Noktalarının (s) Belirlenmesi:

Yukarıda da belirtildiği gibi firmanın uygulanacak olan yeni envanter politikasından bir diğer beklentisi de hedeflenen raftan dolmuş oranlarına (P_2) ulaşabilmesidir. Raftan dolmuş oranları, her bir yeniden dolmuş döngüsü boyunca doğrudan raftan karşılanabilen parça oranına denk gelmektedir. (s, Q) envanter politikalarında herhangi bir yeniden doldurma döngüsü boyunca beklenen eksik parça bildirim oranı (ESPRC)

$$ESPRC = \int_s^{\infty} (x - s) f(x) dx$$

formülü ile hesaplanabilir. Bu formülde s değeri yeniden sipariş verme noktasına, x değeri rassal talebi ifade eden değişkene, ve f(x) ise temin süresi boyunca gerçekleşen talebin olasılık dağılımına karşılık gelmektedir. Aynı politika altında raftan dolmuş oranları ise

$$P_2 = \frac{1 - ESPRC}{Q} \quad (2)$$

formülü ile hesaplanabilir. Dolayısıyla sipariş parti büyüklüklerinin (Q) ve hedeflenen raftan dolmuş oranlarının (P_2) bilindiği bir durumda, (2) numaralı denklemin s değeri için çözümünü ile firmayı hedeflerine ulaştıracak envanter politikası parametreleri belirlenmiş olur.

Normal dağılım için ESPRC değeri

$$ESPRC = G_u(k) * s_L \quad (3)$$

formülü ile elde edilebilir. Burada geçen $G_u(k)$ fonksiyonu standart Normal dağılım için geliştirilmiş

$$\text{ve } \int_k^{\infty} (u_0 - k) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-u_0^2 / 2) du_0 \quad \text{formülü ile}$$

ifade edilen özel bir fonksiyondur (bkz. Silver v. d. 1998). Verili bir P_2 ve Q değeri için (2) ve (3) numaralı denklemler aracılığı ile k değeri hesaplanır ve

$$s = x_L + k * s_L$$

formülü ile de yeniden sipariş verme noktası (s) belirlenir. Bu denklemde $k * s_L$ ile ifade edilen değer ortalama olarak elde tutulan emniyet stokuna karşılık gelmektedir.

Gamma dağılımı için ise ESPRC değeri

$$ESPRC = ab(1 - F(s | a, b)) - s(1 - F(s | a, b)) \quad (4)$$

formülü ile elde edilir. Formülde geçen F fonksiyonu Gamma dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonu olup, a ve b ise dağılım parametreleridir. Yine aynı şekilde verili P_2 ve Q değerleri için (2) ve (4) numaralı denklemlerin kullanımı ile sipariş verme noktası (s) belirlenir.

Mevcut ERP sistemi olan BaaN içerisinde bulunan SIC adlı modül her parçaya ait uygun s ve Q parametreleri girildiğinde, bu politikayı sürekli gözden geçirme prensibi ile uygulayabilmektedir.

Envanter Modelini Destekleyen Yazılım

ABC analizi sonucunda seçilmiş olan öncelikli parçalar için parça sayısı, sipariş verme noktası, parti miktarı ve emniyet stokları gibi çok sayıda değişken, manüel olarak yapılan planlamayı zorlaştırmaktadır. Bu sebeple firma bünyesinde kullanılan ERP sistemine entegre edilebilecek bir yazılımın geliştirilmesi uygun görülmüştür. "MAN Envanter" adı verilen bu yazılımın temel işlevleri, analiz kapsamındaki her bir parça talebi için uygun olasılık dağılımlarının belirlenmesi ve dağılım parametrelerinin kullanımı ile, kullanıcı tarafından belirlenen raftan dolmuş oranı ve ortalama raf ömrü için parti miktarlarının, sipariş noktalarının ve emniyet stoklarının belirlenmesidir. Bu hesaplamalar yapılırken dahili imalat birimi ve ambarların kapasiteleri de göz önüne alınmıştır.

"MAN Envanter" yazılımının Şekil 3'de görülen arayüzü aracılığı ile kullanıcı, hedeflenen raftan dolmuş oranı ve ortalama raf ömrü değerlerini girebilmektedir. Yine aynı arayüzde kullanıcı, talebin olasılıksal özelliklerinin belirlenmesinde temel alınacak olan, gerçekleşen talep verilerinin ve/veya gelecek aylara ait talep tahminlerinin zaman aralıklarını belirler. Bu bilgiler ışığında, Bölüm 4.1.1'de açıklanmış olan algoritmalar ile her bir parça için sipariş verme noktaları (s değeri), sipariş parti miktarları (Q değeri) ve emniyet stokları hesaplanır. Bu değerler Şekil 4'te görülen Sonuç Ekranı'nda listelenir.

Belirlenen tarih aralığı dahilinde oluşan ve hesaplamalara önemli etkisi olacak değişiklikler (örneğin bir otobüs modelinin üretimden kalkması gibi) uyarı mesajları ile kullanıcıya iletilmektedir. Sonuç Ekranı'nda (bkz. Şekil 4), hesaplanan parti büyüklüklerinin uygulanabilir olup olmadığı konusunda, renk kodları aracılığıyla kullanıcı uyarılmakta ve kullanıcıya duyarlık analizi yapma olanağı sunulmaktadır.

The screenshot shows the 'Inventory Program' window. It has a blue title bar with standard Windows window controls. The main area is light blue and contains several sections: 'Period Choice' with a 'Year Option' dropdown (2004), 'Add List', and 'Clear List' buttons; 'Month Options' with buttons for January through December; a table with columns for each month and a row for '2004' with '+' and '-' signs; 'Parameter Choice' with 'Fill Rate' (0,99), 'Period Length(in days)', and 'Shelf Life(in days)' (10); and a 'Run Program' button with a cursor icon below it.

Şekil 3. MAN Envanter - Veri Girişi Arayüzü

MAN Envanter yazılımı ayrıca, raftan dolum oranı ve toplam ortalama envanter değeri arasındaki ödünleşimi, değişim eğrileri aracılığıyla kullanıcıya sunmaktadır (bkz. Şekil 5). Bu değişim eğrisi, hedeflenen raftan dolum oranı değerinin belirlenmesi kararında firma yetkililerine yardımcı olacak bir araç olarak tasarlanmıştır. Bu eğri, farklı raftan dolum oranı değerlerinde, ambarlarda ortalama olarak tutulması gereken envanterin parasal değerinin tüm parçalar için toplamını göstermektedir. Böylece, raftan dolum oranlarındaki hedefin yükseltilmesine karşılık, envanter değerinde gerçekleşecek olan artışı firma yetkilileri görebilecek ve bu ödünleşime göre sağlıklı kararlar verebileceklerdir.

Firmanın kullanmakta olduğu ERP sistemi olan BaaN'ın özellikleri gözönünde bulundurularak, Microsoft® Access kullanılarak hazırlanan MAN Envanter yazılımı girdi ve çıktısı BaaN'a uyumlu olacak şekilde hazırlanmıştır. Bilgi işlem bölümü ile gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda da çıktının BaaN'a kolayca entegre edilebileceği ortaya konulmuştur. İlgili yazılımın etkin bir şekilde kullanılabilmesi için detaylı bir kullanım kılavuzu hazırlanmıştır. Kullanım kılavuzu öncelikli olarak, dahili imalat parça planlamasını yürütmekte olan mühendisler için hazırlanmış olup, yazılım ile BaaN arasındaki veri alışverişinin nasıl yapılması gerektiğini ve programın işlevlerinin nasıl kullanılabileceğini anlatmaktadır.

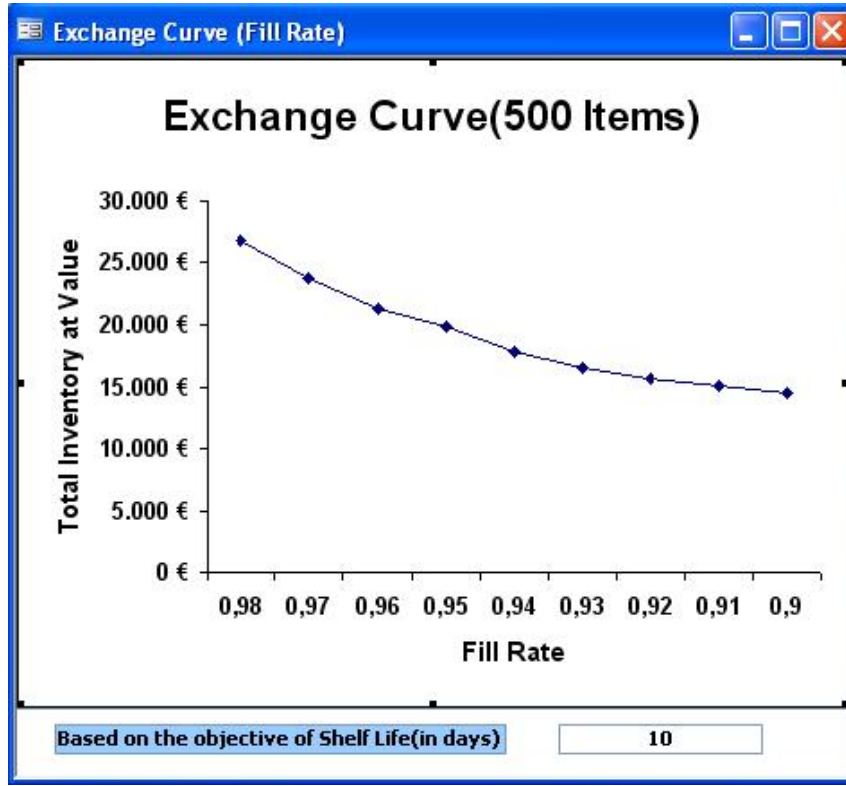
Item Number	Lead Time(in days)	Safety Stock	Reorder Point	Order Quantity	Q Factor
81.72010.0200	7	5	6	1	1
81.72010.0201	7	5	6	1	1
81.72010.2923	5	12	22	20	23
81.72010.2962	7	5	6	1	1
81.72010.2963	7	5	6	1	1
81.72105.2622	6	3	3	1	1
81.72105.2623	2	7	11	20	5
81.72105.2637	7	7	12	8	1
81.72105.2638	7	7	12	8	1

Renk 1 Parti büyüklüğü uygulanamaz. Q Factor e yada onun katlarına eşit olması gerekir.

Renk 2 Parti büyüklüğü uygulanabilir niteliktedir. Hiçbir kısıt yoktur.

Renk 3 Parti büyüklüğü Q Factor e veya onun katlarına eşit olduğu için uygulanabilir.

Şekil 4. MAN Envanter - Sonuç Ekranı



Şekil 5. Değişim Eğrisi

Ambar Yerleşim Çalışması

Yukarıda da belirtildiği üzere, ambardaki mevcut yerleşim düzeni çok fazla sayıda forklift hareketi yapılmasına yol açmaktadır. Ghiani v. d. (2001) bahsedilen problemin çözümü için "Klasik Ulaştırma Modeli"nin kullanılabilceğini belirtmiş ve buna uygun bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu modelin ana hedefi, yüksek talep frekansına sahip parçaları daha kolay erişilebilir noktalara yerleştirerek toplam taşıma zamanının azaltılmasıdır. Bu hedef her ne kadar firma tarafından istenilen çözüm yaklaşımı için uygun olsa da, modelin temel varsayımlarından bazılarının firma ambarları için uygun olmadığı anlaşılmıştır. Bu sebeple "Klasik Ulaştırma Modeli" altında yatan mantık temel alınarak yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelin temelini oluşturan yaklaşımı ve çözüm sürecini daha iyi anlatabilmek açısından öncelikle "Klasik Ulaştırma Modeli"ni açıklamak faydalı olacaktır:

Model dahilinde kullanılan değişkenler ve parametreler şöyle özetlenebilir:

n : Ambarda bulunan toplam ürün sayısı

m_d : Toplam kullanılabilir depolama lokasyonu sayısı

m_j : j ürünü için gerekli depolama lokasyonu sayısı, $j = 1, \dots, n$

p_j : j ürününe ulaşılması için gerekli yatay ve dikey toplam hareket sayısı, $j = 1, \dots, n$

t_k : forklitin k noktasından kapıya kadar gitmesi için gerekli süre, $k = 1, \dots, m_d$

c_{jk} : j ürününü k noktasına atmanın maliyeti, $j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m_d$

$x_{jk} = 1$ eğer j ürünü k noktasına atanırsa = 0 aksi durumda

Amaç fonksiyonu toplam maliyeti en aza indirmek olan model şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned}
\text{Min.} \quad & \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_d} c_{jk} x_{jk} \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{k=1}^{m_d} x_{jk} = m_j, \quad \forall j = 1, \dots, n \\
& \sum_{j=1}^n x_{jk} \leq 1, \quad \forall k = 1, \dots, m_d \\
& x_{jk} \in \{0,1\}, \quad \forall j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m_d
\end{aligned}$$

Modeldeki birinci kısıt tüm ürünlerin atanmış olmasını sağlamaktadır. İkinci kısıt ise bir depolama lokasyonunda en fazla bir ürünün olduğunu garanti altına almaktadır. Son kısıt ise değişkenlerin 0 ya da 1 değeri alabilmesini şart koşmaktadır.

Bu modelin en önemli eksiği parça boyutu kısıtlarını dikkate almaksızın yerleştirme yapmasıdır. Dolayısıyla, modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktı firma tarafından uygulanabilir nitelikte değildir. BaaN üzerinde ise her palet içerisinde bir veya daha fazla depolama lokasyonu görülmekte ve bir palet içerisinde değişik boyutlarda birçok parça bulunabilmektedir. Bu lokasyonlar temel alınarak atama yapıldığında, parça lokasyonlarının paletler arası değişimi söz konusudur. Paletler arası değişim yapıldığında iki değişik problem ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki kapasite aşımıdır. Örneğin model çıktısı, kullanım sıklıklarını ana yerleştirme kriteri olarak iki çok büyük parçayı, BaaN üzerinde içerisinde iki depolama lokasyonu görülen tek bir paletle atayarak kapasite aşımına sebep olmaktadır. Aynı noktadan hareketle, model küçük parçaları tek bir paletle atayarak verimsiz alan kullanımına da sebebiyet vermektedir. Örneğin çok büyük bir parçanın bulunduğu bir paletle birkaç parça atanabilecekken, küçük bir parça buraya atanarak bu depolama lokasyonu model tarafından kullanıma kapalı olarak algılanmaktadır. Kısacası, önerilen model boyut kısıtını ihmal ettiği için, bu problem çerçevesinde birebir uygulanabilir nitelikte olmamakla beraber çözüm yaklaşımları için önemli çıkış noktaları sunmaktadır.

Bu noktada uygulanabilir bir atama yapılabilmesi için gerekli koşul, paletler arasında değişim yapmamak olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle paletler birer parça olarak değerlendirilmiş, talep sıklıkları ise palet içerisinde bulunan parçaların talep sıklıklarının toplamı ile belirlenmiştir. Uygulanabilir bir çıktı elde etmek için basitleştirilmiş bir model geliştirilmiştir. Bu modelde n toplam palet sayısına, m_d ise bu paletler için toplam kullanılabilir depolama noktası sayısına karşılık gelecek şekilde tanımlanmıştır. Mevcut sistemde her paletin zaten bir depolama lokasyonunda bulunduğu gözönüne alınacak olursa, bu değerler tüm paletler için eşittir. Diğer bir deyişle, her paletin zaten bir yeri vardır ve yeni yerleşim planında sadece bu yerlerin değişmesi söz konusudur. Bu sebeple kapasite aşımı olmayacaktır. x_{jk} ikili değişkeni yine aynı şekilde j paletinin içerisinde bulunan parçalarla birlikte k noktasına atanıp atanmadığına karşılık gelecek şekilde tanımlanmıştır. Yeni model şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned}
\text{Min.} \quad & \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_d} x_{jk} c_{jk} \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n x_{jk} = 1, \quad \forall k = 1, \dots, m_d \\
& x_{jk} \in \{0,1\}, \quad \forall j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m_d
\end{aligned}$$

Bu modelin çözümünde tek kısıt her paletin bir lokasyona atanmış olmasıdır. Model basit bir atama problemi olup, problemi optimal olarak çözebilecek bir algoritma VBA dilinde MS Excel programına entegre olarak yazılmıştır. Probleme girdi oluşturan p_j ve t_k parametrelerinin belirlenmesi için ambarlarda bir zaman etüdü çalışması yapılmıştır. Bir ürünün bir lokasyona atanma maliyeti ise

$$c_{jk} = \frac{p_j t_k}{m_j}$$

formülü ile hesaplanmıştır. Bu ifade, k noktasına j ürününün atanması durumunda yapılması gereken hareketlerin ortalama süresidir.

Modelin işleyişini daha iyi anlatabilmek amacıyla şöyle bir örnek verilebilir. Şekil 6'da görüldüğü üzere, mevcut yerleşim düzeninde (solda), yuvarlak içerisine alınan palet 200 gün boyunca, aylık olarak ortalama 115 defa indirilip kaldırılmıştır. Bu palet mevcut düzende kapıya uzaklık olarak 6. sırada ve yükseklik olarak ise 3. rafta bulunmaktadır. Modelin çözümü sonucunda bu palet 1. yükseklik seviyesine yerleştirilmiş ve kapıya yakınlık açısından ise 2. sıraya atanmıştır. Sonuç olarak o noktada bulunan ve ayda ortalama 25 kere indirilip kaldırılmış olan palet yerine, ayda ortalama 115 kere talep görmüş bu palet kapıya daha yakın ve daha alçak bir noktaya atanarak toplam taşıma maliyeti azaltılmıştır. Bu işlem, modelin çözümü sonucunda tüm paletler için uygulanmış ve yüksek talep frekansına sahip parçaları daha kolay erişilebilir noktalara yerleştirmek suretiyle toplam taşıma maliyeti en az seviyeye indirilmiştir.

e-Kanban Çalışması

Firmanın bir diğer talebi parça akışı için uygun yöntemlerin belirlenmesidir. Bu yöntemlerin ana hedefi eksik parça oranlarını, iş gücü verimsizliğini ve hattın sürekliliğini olumsuz yönde etkileyen faktörleri en az seviyeye indirmektir. Bu bağlamda, uygun stratejiler araştırılmış ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan "Tam Zamanlı" (JIT) üretim felsefesi çerçevesinde, Kanban uygulamalarının çeşitli dahili imalat parçaları için uygun olduğu görülmüştür. Bu parçaların, MAN Türkiye tarafından şu an itibarıyla dışarıdan satın alınan parçalara uygulanan e-Kanban yöntemi ile yönetilmesine karar verilmiştir. Parçalar firma tarafından belirlenen boyut, maliyet ve talep sıklığı kriterleri açısından incelenmiş ve e-Kanban ile yönetilecek parçalar belirlenmiştir. Bu parçalar için kullandıkları hatlara göre üretim alanına yerleşim planı önerilerek, uygun kalem grubu tanımlanmıştır.

		Paletlerin Talep Frekanslarına Göre Görsel Karşılaştırma (200 Günlük Ambar Çekim Hareketleri)														
		Üç günde en az bir kere hareket gören palet														
		İki haftada en az bir kere hareket gören palet														
		Ayda bir kere veya daha az hareket gören palet														
		Mevcut Yerleşim(03H)						Önerilen Yerleşim(03H)								
Yükseklik	Kapı	Alan 10														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Yükseklik	Kapı	1	11	25	21	22	88	13	27	13	18	11	106	7		
		2	14	20	18	19	15	19	30	11	18	54	18	28		
		3	13	27	18	23	2	33	30	27	28	37	20	5		
		4	7	31	5	6	5	3	18	17	17	23	0	0		
		5	17	22	9	31	15	15	3	48	26	5	26	0		
Yükseklik	Genişlik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
		5	6	52	39	16	10	8	29	7	12	22	21	3		
		4	6	19	30	11	34	19	15	3	15	15	15	0		
		3	12	2	67	12	40	18	12	5	5	19	43	1		
		2	49	41	1	27	15	49	34	31	26	2	1	3		
1	48	40	54	31	20	21	53	23	55	56	53	60				
Yükseklik	Kapı	Alan 20														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Yükseklik	Kapı	1	2	0	115	1	6	88	81	78	72	68	67	60	56	56
		2	3	31	1	31	31	30	30	30	30	29	29	29	29	29
		3	21	21	21	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19
		4	15	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12
		5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Yükseklik	Genişlik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
		5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3		
		4	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	
		3	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
		2	29	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	27	
1	55	54	54	53	53	52	52	49	49	48	48	47	47			
Yükseklik	Kapı	Alan 30														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Yükseklik	Kapı	1	78	72	18	21	26	0	81	73	11	30	43	52	14	43
		2	9	16	27	1	28	17	7	31	8	25	16	27	8	0
		3	24	5	33	10	6	16	1	5	33	2	9	15	1	16
		4	24	36	16	10	3	5	27	7	13	39	5	26	4	8
		5	10	28	10	3	15	2	4	41	15	8	4	0	7	15
Yükseklik	Genişlik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
		5	5	9	23	10	8	18	56	35	38	25	16	45	12	
		4	17	15	11	1	7	38	24	21	12	18	29	23	3	
		3	3	3	3	9	115	3	18	4	210	2	26	13	31	
		2	38	7	0	16	10	8	9	6	8	13	33	17	1	
1	68	19	45	34	25	0	16	47	40	2	26	27	28	28		
Yükseklik	Kapı	Alan 40														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Yükseklik	Kapı	1	45	45	43	43	43	41	41	40	40	40	39	39	38	38
		2	27	27	27	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	25
		3	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16
		4	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9
		5	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
Yükseklik	Genişlik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
		5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	9	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	8
		3	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
		2	25	24	24	23	23	23	23	20	22	22	22	22	21	21
1	38	37	36	35	35	34	34	34	34	33	33	33	33	31		

Şekil 6. Ambar Yerleşim Örneği

YÖNTEMBİLİMİN UYGULAMASI

Önerilen yöntemleri geçerlemek için rassal envanter modeli ve yeni ambar yerleşimi için benzetim koşulları yapılmış, Kanban kontrol sistemi ise toplam taşıma uzaklığı açısından değerlendirilmiştir.

Rassal Envanter Modeli

Seçilmiş olan politikanın, ve geliştirilen yazılımın çıktısının, MAN üretim yapısına uygunluğunu doğrulamak amacıyla bir benzetim koşumu gerçekleştirilmiştir. Koşum şu şekilde yapılmıştır: Belirli bir tarih aralığı için BaaN üzerindeki günlük envanter hareketleri (giriş, çıkış ve pozisyon) kaydedilmiştir. Bu aralıkta envanterde tutulan 1350 parça için ortalama raf ömrü 105 gün ve bu raf ömrüne karşılık gelen toplam parasal değer 390.000 Avro olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, aynı deneysel koşullar (gerçekleşmiş talep ve başlangıç envanteri) altında, geliştirilmiş olan modelin kullanılması halinde ortaya çıkan raf ömrü ve buna karşılık gelen parasal değer sırasıyla, 42 gün ve 185.000 Avro olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, raf ömrü bazında %60'lık, envanter maliyetleri açısından %53'lük iyileştirmeler sağlanabileceği ortaya konmuştur.

Ambar Yerleşim Çalışması

Mevcut paletlerin ambarlarda yerleşim planlarının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş olan modelin çözümü ile ortaya çıkan sonuçların geçerlenmesi için öncelikle bir zaman etüdü yapılmış ve forkliftin raflara ulaşma süresi tespit edilmiştir. Belirli bir aralıkta, BaaN'da kayıtlı bulunan envanter giriş ve çıkışları kullanılarak mevcut yerleşim için ambarlarda gerçekleşmiş olan günlük forklift nakil zamanları hesaplanmıştır. Yine aynı veriler kullanılarak, önerilen yerleşim için nakil zamanları hesaplanmış ve bu zamanların forklift kullanımında 03H ve 04H ambarları için sırasıyla 13 ve 32 dakikaya düşürülebileceği ortaya konmuştur. Daha önce de belirtildiği gibi mevcut sistemde bu değerler sırasıyla 19

ve 54 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu sayede 03H ve 04H ambarlarında gerçekleşen toplam forklift kullanım zamanlarında sırasıyla %32 ve %40'lık iyileştirmeler sağlanabileceği gözlemlenmiştir.

E-Kanban Çalışması

E-kanban çalışması dahilinde öncelikle Kanban akış stratejisinin dahili imalat parçaları için uygun olup olmadığı araştırılmış, araştırma sonucu firma tarafından belirlenmiş kriterlere uyan parçaların akışının e-Kanban metodu ile sağlanması uygun bulunmuştur. Bu parçaların belirlenmesi sürecinde öncelikle dahili imalat ambarlarındaki tüm parçaların her biri incelenmiş ve boyut açısından değerlendirilmiştir. Boyutları 10x10x10 cm³'ü geçmeyen parçalar maliyet ve talep açılarından incelenmiş ve birim fiyatı 3 Avro'dan düşük ve aylık talebi yüz adetten yüksek olan parçalar listelenmiştir. Daha sonra parçanın montaj hattında kullanıldığı noktalar dikkate alınarak bu parçalar için uygun e-Kanban noktaları atanmış ve parçalar buralara yerleştirilerek öneriler uygulamaya geçirilmiştir. Bu parçaların kalem grubu BaaN üzerinde değiştirilmiş ve "Kanban parçaları" olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma sonucu e-Kanban sistemine geçirilen parçalar eski sistemde aylık toplam 90 km mesafe katederek üretim hattına ulaşırken, önerilen sistemde bu mesafe 7 km'ye düşürülmüştür.

UYGULAMA PLANI

Elde edilen sonuçların firmaya aktarılmasını takiben, firma yetkilileri ile birlikte bir uygulama planı hazırlanmıştır. Şu an itibarıyla yazılım, yönetsel kararları desteklemek amacıyla kullanılmaya başlanmış ve değişik parti miktarları, sipariş noktaları ve raftan dolmuş oranları ile envanter maliyetleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyan duyarlılık analizleri yapılmıştır. Uygulamaya geçilebilmesi için eğitimler, uyum süreci ve bilgi işlem ayağındaki entegrasyonun tamamlanması

olarak tanımlanmış üç aşama firma yetkilileri ile birlikte belirlenmiştir. Eğitim aşaması için kullanım kılavuzu firmaya teslim edilmiş, BaaN ile entegrasyon için ise gerekli prosedürler bilgi işlem birimi ile yapılan toplantılar sonucu ortaya konmuştur. Planlama birimindeki uyum sürecinin de tamamlanması sonrasında uygulamaya geçilecektir.

Ambar yerleşimi için yapılan çalışma sonunda önerilen metotların uygulamaya geçirilmesi ise firmanın belirlemiş olduğu bir tarihte öncelikle parça noktalarının BaaN üzerinde değiştirilmesi ve ardından kademeli olarak parçaların bu noktalara fiziksel olarak yerleştirilmesi ile sağlanacaktır.

Daha önce de belirtildiği üzere, e-Kanban çalışması sonucunda önerilen metotlar hemen uygulamaya alınmıştır.

GENEL DEĞERLENDİRME

Proje çalışmaları sonucunda önerilen metotların firmaya getireceği katma değerler şöyle sıralanabilir:

- Parça taleplerindeki rassalılık hesaba katılarak geliştirilen, performans ölçütlerinin firma tarafından belirlenebileceği bir stok kontrol mekanizması karar süreçlerini destekler niteliktedir. Ayrıca modeli destekleyen yazılımın kullanım kolaylığı ve BaaN ile olan uyumu uygulanabilirlik açısından önem taşımaktadır. Benzetim koşulları ile de gösterildiği üzere envanter maliyetleri ve stok ömür seviyelerinin en az seviyeye nasıl çekilebileceği konusunda firma yeni ve farklı bir anlayış kazanmıştır. Geliştirilmiş olan yazılımın güncellenebilir ve belirli stratejik aralıklarda revize edilebilir olması yazılımın kalıcılığı açısından önemlidir. Yazılımın parti miktarlarına ilişkin verdiği sinyaller doğrultusunda temin sürelerinin parti miktarları ve sipariş noktaları üzerindeki etkileri açıkça görülmektedir. Gelecekteki çalışmalar açısından değerlendirildiğinde yürütülmüş olan bu çalışma, geliştirilen yazılımın, parti miktarlarının envanter seviyesine etkisini ortaya

koyan duyarlık analizi özelliği sayesinde, ileride yapılabilecek ve dahili parça imalatındaki sabit ayar sürelerinin düşürülmesini hedefleyen olası bir projeye temel oluşturacaktır. Sık işlem gören ve değerli parçalar arasından seçilmiş 1350 parça için, belli bir zaman aralığında gerçekleşmiş talep verileri üzerinden yapılan bir benzetim çalışması ile önerilen sistemin, aynı dönemde aynı parçalar için ortalama olarak ambarlarda bekleyen envanterin toplam parasal değerinde %53'lük bir azalma yapabileceği gösterilmiştir.

- Firmanın yakın dönemde uygulayacağını teyit ettiği ambar yerleşim çalışması sonucunda toplam fork-lift maliyetinde yıllık 4000 Avro'luk bir azalma sağlanabileceği ortaya konmuştur. Ek olarak, 03H ve 04H ambarlarının parça erişim süreleri açısından, sırasıyla %32 ve %40 daha verimli kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu değerler hattın seri bir şekilde beslenmesi açısından da önemlidir.
- Dahili imalat parçaları ile ilgili bir diğer çalışma olan e-Kanban çalışması sonucunda, e-Kanban metodu ile yönetilmesi uygun bulunan düşük maliyetli ve sık kullanılan parçaların ihtiyaç duyulduğu anda üretim hatlarına ulaşmak için katetmeleri gereken mesafe yaklaşık onikide bir oranında azaltılmıştır. Bunun yanı sıra, iş gücünden olan kazanımlar ve hattın sürekliliğine olan katkılar da göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKÇA

1. Burgin, T. 1972. Inventory Control with Normal Demand and Gamma Lead Times. *Operations Research Quarterly*. 23(1), 73 - 80
2. Ghiani, G. , Laporte, G. ve Musmanno, R. 2004. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. Wiley and Sons.
3. Silver, E. , Pyke, D. ve Peterson, R. 1998. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Wiley and Sons.