

BİR OTOMOTİV YAN SANAYİ FİRMASINDA KESİCİ TAKIMLAR İÇİN ÇEKME VE MILKRUN SİSTEMİNİN UYGULANMASI

Seda REÇEL¹, Nurgül BALCI¹, Betül ÇETİN¹, Nursel ÖZTÜRK^{1*}, Türker ÖZALP¹, Halil ÖZBEY²

¹Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059 Görükle, Bursa
²Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş., 16063 BTO Organize Sanayi Bölgesi, Bursa

sedarecel@gmail.com, nrglbalci@gmail.com, btllcetinn@gmail.com, nursel@uludag.edu.tr, tozalp@uludag.edu.tr, halil.ozbey@tr.bosch.com

ÖZET

Bu projede, stok noktalarının kontrol altına alındığı ve tüm stok noktalarına uygun bir rota ile taşıma yapılacak bir sistemin oluşturulması amaçlanmıştır. Proje kapsamında tüm takım-tutucular için çekme sistemi kurulmuş, milkrun döngüsü oluşturulmuştur. Her takım-tutucu eşleşmesi için optimum stok miktarı, kanban adetleri Bosch kanban formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Üretim ihtiyaçlarına göre stok noktaları belirlenmiştir. EZDTPARP kullanılarak matematiksel model oluşturulmuş, CPLEX ile çözülerek sabit bir rota saptanmıştır. MTM-Logistic-Time-Data kullanılarak tur süresi hesaplanmıştır. Milkrun'da kullanılacak akülü taşıma aracı ise AHP kullanılarak seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çekme sistemi, eş zamanlı dağıtım-toplamalı ARP, analitik hiyerarşi prosesi

IMPLEMENTATION OF THE PULL AND MILKRUN SYSTEM FOR CUTTING TOOLS AT AN AUTOMOTIVE SUPPLIER FIRM

ABSTRACT

In this project, it is aimed to develop a system that controls the stock points and draws an appropriate transportation route to all stock points. Within the project a pull system is established and milkrun cycle is generated for all cutting tool-handles. Optimum amounts of stock are calculated with Bosch Kanban Function for each cutting tools-handles. Stock points are determined in accordance with the production needs. A mathematical model is developed by VRPSPD and solved by CPLEX to evaluate a fixed route. Milkrun cycle time is calculated by using MTM-Logistic-Time-Data. The battery powered milkrun vehicle is selected with AHP.

Keywords: Pull system, VRP with simultaneous pickups and deliveries, analytical hierarchy process

* İletişim yazarı

Sakarya Üniversitesi tarafından düzenlenen 31. Yöneyim Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda üçüncülük ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. GİRİŞ

Rekabet koşulları giderek zorlaşan dünyamızda işletmelerin ayakta kalabilmesinin şartı, kaynaklarını etkin kullanabilmesidir. Etkin kaynak kullanımı ise analizlerin doğru yapılması ile mümkün olur. Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş. Bursa Dizel Enjektör Fabrikası'nda gerçekleştirilmiş olan proje kapsamında taşınan kesici takımlar, üretim genelinde 200 adet yüksek otomasyona sahip CNC makine tarafından kullanılmaktadır. Takımlar, makinelere bağlanma sürelerinin azaltılması amacıyla takım ön ayar atölyesinde tutuculara bağlanarak üretimdeki stok noktalarına taşınmaktadırlar. Bu projede amaç, stok noktalarının kontrol altına alınması ve tüm stok noktalarına uğrayan, uygun bir rota ile taşıma yapılacak sistemin oluşturulmasıdır.

2. MEVCUT DURUM ANALİZİ

Bosch, yapısı ve sahip olduğu ürünlerle sistem çözümlerinde en iyi olmayı hedeflemektedir. 1971 yılında kurulmuş olan Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa'da beş yerleşkede faaliyet göstermektedir. Bu yerleşkelerde sırasıyla 1. ve 2. nesil "common rail" enjektörleri (Bu1), fren sistemleri (Bu2), 3. nesil "common rail" dizel enjektörleri (Bu3), benzinli enjektörler (Bu4) ve hidrolik makine elemanları (Bu5-Rexroth) üretilmektedir. Bu proje, 1. ve 2. nesil "common rail" enjektörlerin üretimi yapılan Bu1 yerleşkesinde gerçekleştirilmiştir.

Yerleşkede bulunan dört imalat binası ve yan binalarda yılda dokuz milyon enjektörün alt parçaları üretilmekte, montaj ve test işlemleri yapılmaktadır. Üretim genelinde kullanılan yaklaşık 300 adet yüksek otomasyona sahip CNC makinesinden 200 tanesi kesici takım kullanmaktadır.

2.1 Üretim Biriminin Tanıtımı

İşletmede üretimin gerçekleştiği dört adet bina Şekil 1'de görülmektedir. Bu binalardan üç tanesinde kesici takım kullanan makineler bulunmaktadır. Gövde imalatının bir kısmının gerçekleştiği 110 binasında takım ön ayar atölyesi konumlanmıştır. Bu atölyede kesici takımlar üretimin kullanacağı şekilde hazırlanmakta, aynı binada bulunan duraklara, ayrıca 101 ve 102 binaları olarak adlandırılan enjektörün diğer parçalarının üretildiği binalardaki mevcut stok noktalarına dağıtımı gerçekleştirilmektedir.

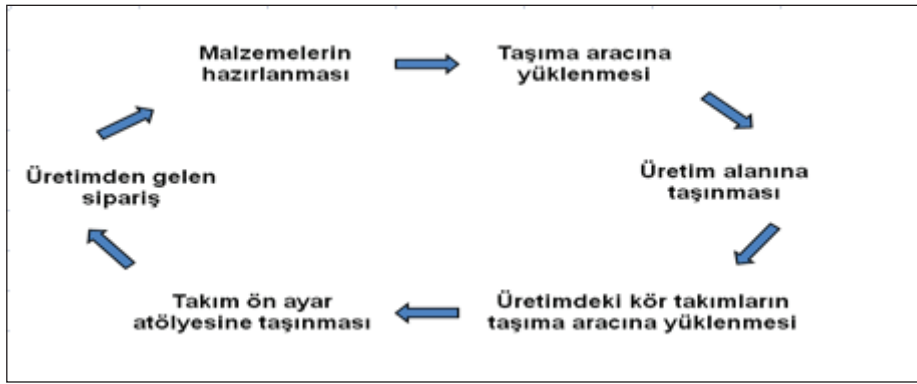
Şekil 1'de takımların tutuculardan sökülüp tutuculara bağlandığı ve üretim için kullanıma hazır hâle getirildiği takım ön ayar atölyesi sarı renkle gösterilmiştir. Pembe noktalar, kullanılmış takımların takım ön ayar atölyesine götürülmek üzere toplandığı stok noktalarını; yeşil noktalar da takım ön ayar atölyesinde bağlanan takımların bırakıldığı stok noktalarını ifade etmektedir.



Şekil 1. Mevcut Sistemde Fabrika İçi Stok Noktaları

2.2 Kesici Takımların Kullanımı

Yerleşkenin üç binasında alt parça imalatını gerçekleştiren 300 adet yüksek otomasyonlu CNC makine bulunmakta, bunlardan 200 adedi kesici takım kullanmaktadır. Takımların makinelere bağlanma sürelerini kısaltmak için makinelere geçme prensibiyle takılan hidrolik ve mekanik tutucular kullanılmaktadır. Tutucular, takımlara takıldıktan sonra makinelere taşınmaktadır. Kesici takımların fabrika içi tedarik süreci Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kesici Takımların Fabrika İçi Tedarik Süreci

Pahalı ekipmanlar olduklarından imalat biriminin ihtiyaçları minimum takım ve tutucu adedi ile karşılanmalıdır. Tutuculara bağlanacak takım adetleri tecrübeye dayanarak belirlenmektedir. Dolayısıyla, tutucuya bağlanmış takımlar için imalat ihtiyaçlarına uygun olmayan stok seviyeleri ve kaotik durumlar ortaya çıkabilmektedir. Stok miktarı düşük takımlardan gerektiğinde, fazladan bağlanmış aynı tutucuyu kullanan takımlar, takım ön ayar atölyesine geri getirilip, tutucuları sökülerek ihtiyaç duyulan takıma bağlanmaktadır. Stok noktalarının FIFO prensibine göre takip edilememesi proses parametrelerinin izlenmesini ve hata geri takibini engellemektedir.

2.3 Takım Ön Ayar Atölyesi

Fabrika içinde takım tedarigi, takımların tutuculara bağlanma ve sökülme işlemleri destek birimine ait takım ön ayar atölyesi tarafından yapılmaktadır. Üretimi gerçekleştirilen parçaların işlenmesindeki toleranslar $0,5\mu$ seviyesine kadar inebilmektedir. Bu hassasiyette çalışan makinelere takımlar doğru bağ-

lanmış olmalıdır. Üretilen parçaların tiplerine göre, aynı takım ve tutucunun farklı boylarda bağlanması gerekebilmektedir.

Satın alınan ve bileme atölyesinden gelen takımlar, üretimde kullanılmaya hazır hâle getirilmeleri için birçok işlemlerden ve taşımardan geçmektedirler. Tedarik noktası olan takım ön ayar atölyesinde, üretime gidecek olan takımların tutuculara uygun ölçülerde bağlanması, üretimden gelen kör takımların da tutucularından ayrıştırılıp temizlenmesi işlemleri

yapılmaktadır. Hazırlanan kesici takımlar üretime götürülmek üzere mevcut taşıma araçlarına yüklenecek üretimdeki stok noktalarına taşınmaktadır. Bu işlemler esnasında tutucu kısıtı nedeniyle makinelere darboğazlar gözlenmektedir. Taşımaları, takım ön ayar atölyesinin altı çalışanı, günlük iş yüklerine ilaveten bir el arabasıyla yapmaktadır. İmalat alanının büyüklüğü nedeniyle toplam taşıma mesafesi günlük 24 km'yi aşmaktadır.

2.4 Mevcut Durumda İyileştirmeye Açık Yönler

Mevcut durumda, takım ön ayar atölyesinden üretimdeki stok noktalarına yapılan taşımaların düzenli bir rotası bulunmamaktadır. Ayrıca toplam taşıma mesafesi günde 24 km'yi aştığından taşıma işlemi, takım ön ayar atölyesi çalışanlarından altı kişiye iş yüklerine ek olarak verilmiştir.

Taşımalar tecrübeye dayalı olarak taşıma elemanları ya da makine operatörleri tarafından yapılmakta-

dır. Taşımalarda manuel taşıma araçları kullanılmaktadır. Mevcut taşıma aracının kapasitesi 30 takım için uygundur. Bu durum ihtiyaç duyulan malzemelerin taşınması açısından yeterli değildir.

Bosch A.Ş.de kesici takımların taşınmasında kullanılan manuel taşıma araçları, taşıma mesafesinin uzun olması ve bu işin vardiya boyunca tekrarlanarak yapılması nedeniyle çalışan için iş koşullarını ağırlaştırmaktadır.

Üretimden gelen talep ve taşımaları yapan kişilerin tecrübeleri doğrultusunda taşıma aracı sefere çıkmaktadır. Genellikle her saat başında ve vardiya başlarında, tüm duraklara uğramak şartıyla takım ön ayar atölyesinden üretime kesici takım taşınmaktadır. Ancak, tip dönme, kesici takımların tutuculara ya da makinelere yanlış bağlanması, kesici takımların kırılması gibi acil durumların ortaya çıkmasıyla ek seferler oluşmaktadır. Ayrıca vardiya başında yapılan bu seferlerde, toplanan kör takımların fazla olması nedeniyle taşıma arabalarının kapasitesinin yetmediği durumlarda da ek seferler oluşmaktadır.

Takımlarla ilgili verilerin bütün ve güncel olmasından kaynaklanan eksiklikler nedeniyle üretim alanındaki stok seviyeleri kontrol altında tutulamamaktadır. Ayrıca tip dönme ve takım kırılmaları gibi acil durumlar ortaya çıktığında doğru zamanda doğru takımın doğru yerde olmamasından kaynaklanan makine duruşları yaşanmaktadır.

Takım ömrünün tamamlanması, takım kırılmaları ve tip dönmelerde doğru tutuculara, doğru parametrelerle bağlanmış doğru takımlara ihtiyaç duyulmaktadır. İmalatın sürekliliğinin sağlanabilmesi için imalat sırasında ihtiyaç duyulan takımların, üretim alanında uygun miktarda stoklarının bulunması, düzenli olarak üretim alanına tedarik edilmesi zorunludur. Bu yüzden takım ve tutucu maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle üretim alanındaki stok noktalarında ve takım ön ayar atölyesinde bulundurulmuş takım ve tutucu adetlerinin minimumda tutulması gerekmektedir.

Mevcut durakların ergonomi ve iş güvenliği kurallarına uygunluğu incelenerek, uygun olmayanlar için üretim ve üretime hizmet eden (malzeme taşıyan)

birimlerin onayı alınarak alternatif durak yerlerinin belirlenmesi ve bu durak yerlerine uğrayan en uygun ve en kısa rotanın oluşturulması gerekmektedir. Rota üzerinde, taşıma aracının kullanacağı yollar ve durakların konumları, iş güvenliği ve ergonomi dışında firmanın standartları da dikkate alınarak oluşturulmalıdır.

2.5 Beklentiler

Bosch A.Ş., üretime taşınan kesici takımların Milkrum sistemine uygun en kısa ve kapalı çevrim oluşturacak bir rotayla dağıtılmasını ve bu rotanın standartlaştırılmasını istemiştir. Böylece takım eksikliğinden kaynaklanan makine duruşlarının minimum düzeye indirilmesi, ayrıca çalışanların ve makinelerin tam kapasite ile çalışmaları sağlanmış olacaktır.

İşletme, iş gücünün dengelenmesi çalışmalarına çok önem vermekte ve çalışanlarını mesleki rahatsızlıklardan da korumak istemektedir. Bu nedenle, üretimin bir turda ihtiyaç duyduğu malzeme sayısına uygun kapasitede olan alternatif taşıma araçlarının maliyeti, kapasitesi ve diğer standartları göz önünde bulundurularak araç seçiminin yapılmasını istemiştir. Ayrıca seçilen taşıma aracının kapasitesi ve oluşturulan rotanın çevrim süresi dikkate alınarak tur sayısının en uygun sayıda olması da beklentiler arasındadır.

Tutucuların kısıtlı sayıda ve pahalı ekipmanlar olmaları nedeniyle takım ön ayar atölyesinde üretime götürülmek üzere hazır takım bulundurulamamaktadır. Takımların tutucularına bağlanıp hazır hâle getirilmesi süreci uzun olduğundan takım ön ayar atölyesindeki ve üretimde bulunan duraklardaki stok seviyelerinin uygun seviyede olması gerekmektedir.

Üretimde yer alan stok noktalarının çekme sistemi uygun olmaması ve kontrolsüz stokların bulunması nedeniyle bazı durumlarda makine duruşları da yaşanmaktadır. Hatalı bağlanmış takımların geri takibi ve takım bağlama proses parametrelerinin izlenebilmesi için takımların imalat birimi tarafından FIFO prensibiyle kullanılması gereklidir. Bu çalışmada optimum stok seviyelerinde üretim ihtiyaçlarına yanıt verecek FIFO prensibiyle çalışan minimum iş gücü ve minimum maliyet ile takımların düzenli tedarikini garanti altına alacak bir sistemin kurulması hedeflenmiştir.

Özetle; manuel taşıma araçlarıyla yapılan taşıma sürelerinin kısaltılması, imalatın katma değeri olan işlere odaklanması ve katma değeri olmayan taşıma işleri ile zaman kaybedilmemesi en önemli hedefler arasındadır. Değer getiren/getirmeyen faaliyetlerin ayrılması ve her iki faaliyet için de optimizasyon yapılması istenmiştir. Son olarak takım sevkiyatında kalite ve verimliliğin yükselmesiyle makine duruşlarının önlenmesi, yanlış takımlarla işleme sonucu oluşan hataların sifra indirilmesi ve buna bağlı olarak da maliyetlerin azalması firma beklentilerini oluşturmaktadır.

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bosch A.Ş.de oluşturulmakta olan Milkrun sistemi için belirlenecek en uygun rotanın genel olarak Araç Rotalama Problemleri (ARP) sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

ARP ilk defa Dantzig ve Ramser tarafından tanımlanmıştır (Dantzig ve Ramser, 1959). ARP’de bir veya daha fazla taşıyıcı, bir depodan çıkış yaparak kendilerine tahsis edilen talep noktalarına belirli bir sıraya (rotaya) göre uğrar, uğradığı son talep noktasından sonra depoya geri döner. Buna göre her taşıyıcı depoda başlayan ve depoda sonlanan bir tur üzerinde hareket eder. Talep noktaları turlar arasında hiçbir talep noktası turlar dışında kalmayacak ve birden fazla taşıyıcıdan hizmet almayacak şekilde paylaşılır. Bu paylaşımların nasıl yapılacağı ve turların ne olacağı ana karar problemidir.

ARP, sahip olduğu kısıtlara göre, geri toplamalı araç rotalama problemleri, dağıtım toplamalı araç rotalama problemleri, zaman pencereci araç rotalama problemleri gibi farklı türlere sahiptir. Dağıtım toplamalı araç rotalama problemleri; her rotanın depoda başlayıp depoda bittiği, her müşteriye bir aracın gittiği; rotanın toplam talebinin araç kapasitesini aşmadığı; her müşterinin arz ve talebinin karşılandığı problemlerdir. ARP’nin çeşitlerinden bazıları aşağıdaki gibidir (Bianchessi ve Righini, 2009; Yurtkuran, 2009).

Önce dağıtım sonra toplamalı araç rotalama problemlerinde; depodan müşterilere dağıtılacak malzemelerin tamamı dağıtıldıktan sonra müşterilerden depoya

gönderilecek malzemelerin toplama işlemi yapılır. Bir müşteriye birden fazla kez uğranabilir.

Karışık dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinde; dağıtım ve toplama işlemi karışık olarak yapılmaktadır. Bir müşteriye birden fazla kez uğranabilir.

Eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri (EZDTARP); dağıtım ve toplama işlemlerinin eş zamanlı gerçekleştirildiği problemlerdir. Eş zamanlı ifadesinden anlatılmak istenen müşteriye uğrandığında, dağıtılacağı bırakılması ve toplanacağı alınmasıdır. Dolayısıyla müşteriler herhangi bir ayrıma tabi tutulmazlar. Araçlar her müşteriye bir defa gider ve dağıtım ve toplama işlemini yaparak müşteriden ayrılır.

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminde; müşterilerin talepleri önceden bilinmektedir. En basit kapasiteli araç rotalama probleminde her aracın kapasitesi eşittir ve araçlar bir depodan harekete başlarlar ve en son yine bu depoya geri dönerler. Müşterilerin talepleri tek seferde teslim edilmektedir, parçalama söz konusu değildir.

Literatürde üzerinde çok fazla çalışma olan bu problem türünde, her müşterinin belirli talep miktarı vardır ve her müşteri yalnızca bir araç tarafından ve sadece bir kez ziyaret edilebilir. Depo ve müşterilerin birbirlerine olan uzaklıkları simetriktir ve araçların seyahat süresi bu mesafeyle doğru orantılı alınabilmektedir. Bu problemde de sıklıkla amaç, araçların kat ettiği toplam mesafeyi yürütürken bu projede yukarıda anlatılan Milkrun sisteminin geliştirilebilmesi için Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi’nin (EZDTARP) uygun olabileceği belirlenmiştir.

EZDTARP ilk olarak Min (1989) tarafından tanımlanmıştır. Bir depo, iki araç ve 22 müşteriden oluşan kütüphane sisteminde, kütüphaneler arasında kitap taşınmasına ilişkin bir algoritma geliştirmiştir. Min’in algoritması önce kümeleme sonra rotalama yöntemini temel almaktadır.

Dethloff (2001), EZDTARP için bir matematiksel modeli geliştirmiş ve ekleme temelli bir sezgisel

algoritma önermiştir. Montane ve Galvao (2006), EZDTARP ile ilgili sezgisel yöntemlerden tabu arama algoritmasını geliştirmiştir. Nagy ve Salhi (2005), hem EZDTARP hem de karışık dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için sezgisel algoritmaları önermiştir. Bianchessi ve Righini (2009) ise EZDTARP ile ilgilenmiş, çözümü için sezgisel algoritmalar geliştirmiş ve bu algoritmaları karşılaştırmıştır. Ai ve Kachitvchyanukul (2009), EZDTARP için yeni bir matematiksel model geliştirmiş ve problemin çözümü için kuş sürüsü algoritması önermiştir. Geliştirilen matematiksel model literatürdeki üç matematiksel modelin genişletilmiş halidir. EZDTARP ile ilgili başka bir çalışma ise eş zamanlı dağıtım toplama problemlerinin karar destek sisteminin oluşturulmasıyla ilgilidir (Gencer ve Yaşa, 2007).

Alternatif taşıma araçları arasından seçim yapılırken Fayda-Maliyet Analizleri, Sıralama, Risk Analizleri, Puanlama, Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) ve Hedef Programlama gibi yöntemler kullanılabilir. Çok sayıda farklı özelliklere sahip seçeneklerin; göz önüne alınması gereken birçok nicel, nitel faktör ve amacın bulunduğu problemlerde AHP'nin çok tercih edilen bir yöntem olduğu görülmüştür.

Bu projede, işletmenin beklentilerini karşılayan araç seçimi AHP yöntemi ile belirlenmiştir. AHP yöntemi, karmaşık bir problemin çözümünde amaç, kriter (alt kriterler) ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir yapı kullanır (Saaty, 2000).

AHP, ortaya çıkışından bu yana karar vericiler ve araştırmacıların ellerindeki en geniş kullanım alanı bulan çok amaçlı karar verme araçlarından biri olmuştur.

AHP, Saaty tarafından 1970'li yıllarda ortaya atılmış, çok kriterli problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir. AHP yönteminde ilk olarak temel hedef, daha sonra hiyerarşik bir düzen içinde kriterler ve alt kriterler belirlenir, alternatifler ile olan ilişkileri ortaya konur. Daha sonra en alt seviyedeki kriterlerin en üst temel hedefe olan göreceli önem dereceleri çıkarılır.

Analitik hiyerarşi süreci, hem nitel hem de nicel kriterlerin karar verme sürecinde birlikte ele alın-

masına olanak sağlamaktadır. Analitik hiyerarşi süreci ayrıştırma/hiyerarşik yapının geliştirilmesi, ikili karşılaştırmalar ve sentez olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır (Saaty, 2000).

Bu projede, stok noktalarındaki stok seviyelerinin ve dolaşımda kullanılacak kanban adetlerinin belirlenmesi için, BOSCH GmbH merkezi endüstri mühendisliği birimi tarafından geliştirilmiş olan ayrıntılı kanban hesaplama formülünün (Bosch, 2010) kullanılmasına karar verilmiştir. Formülde kullanılan parametrelerden birinin değişmesi durumunda kanban adetleri yeniden hesaplanmalıdır.

Taşıma sürelerinin değerlendirilmesinde, MTM metodunu temel alan, MTM-Logistic-Time-Data (Bosch, 2006) kullanılması uygun görülmüştür.

4. ÇALIŞMALAR / UYGULAMALAR

Proje kapsamında, öncelikle veriler toplanıp analiz edilmiş ve ihtiyaçlara uygun, güncellemelere açık dinamik bir veri tabanı oluşturulmuştur. Belirlenen kriterlere göre alternatif taşıma araçlarından uygun olanı AHP yöntemi ile seçilmiş, üretimdeki stok seviyeleri kontrol altına alınarak Milkrun standartlarına uygun şekilde konumlandırılmıştır. Tüm stok noktalarına uğrayan ve taşıma süresini minimize etmeyi amaçlayan matematiksel model kurulmuş ve MPL programında (<http://www.maximalsoftware.com>) kodlanarak CPLEX ile çözülmüştür.

4.1 Verilerin Toplanması ve Analizi

İşletme bünyesinde yer alan kesici takımların üretilen tiplere göre kullanıldıkları makineler, ambar kodları, yardımcı elemanları ve ömürleri farklılık göstermektedir. Bu nedenle; tüm malzemelerin ambar kodları, kullanıldıkları makinelerde ürettikleri tiplere göre takım ömürleri, yardımcı elemanları, kullanıldıkları makinelerin vardiyalık üretim kapasiteleri, kullanılan malzemelerin hangi duraklara bırakılıp hangi duraklardan toplandığını içeren veriler, ilgili bölümlerle görüşülerek elde edilmiştir.

Veri toplama aşamasının ardından; tüm veriler değerlendirilerek oluşturulan tablo, makine ve takım bazında düzenlenmiştir.

4.2 Veri Tabanı Oluşturulması

Veri toplama aşamasının ardından bütün ve güncel verileri içeren, kullanımı ve güncellenmesi kolay bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Proje kapsamında oluşturulan Excel dosyası makro içerdiği için ilk olarak makroların aktif hâle getirilmesi gerekmektedir. Kullanıcıların daha dikkatli olmasını sağlamak amacıyla açılış sayfasına makro etkinleştirme uyarısı oluşturulmuş ve seçilmesi gereken seçenek işaretlenmiştir.

Makrolar aktif hâle getirildiğinde, işlem seçiminin yapılacağı giriş sayfası görünür hâle gelmektedir. Burada yapılan seçime göre işlemlere devam edilmektedir. İşlem seçimiyle ilgili formun ekran görüntüsü Şekil 3'te görülmektedir.

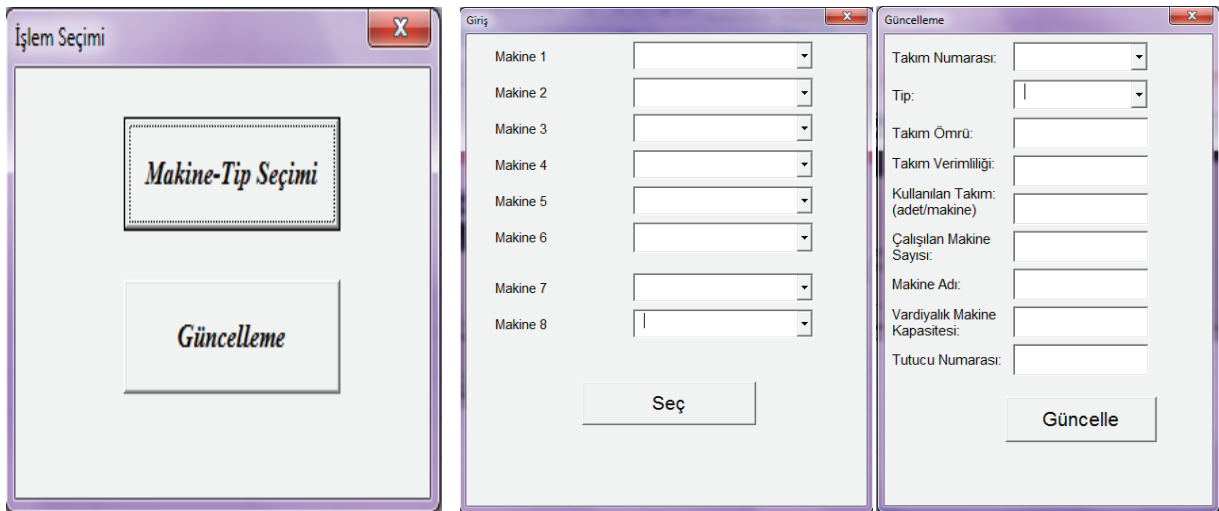
Kullanıcı, işlem seçim menüsünden ulaşmak istediği veriye göre seçim yapabilmektedir. "Makine-Tip Seçimi" butonunun tıklanması sonucunda kullanıcının karşısına yeni bir form gelmekte ve bu formda hangi makinede hangi tipin çalışıldığını belirtmesi gerekmektedir. Şekil 3'te verilen ekranda kullanıcı makine isimlerinin karşısında bulunan birleşik giriş kutularından çalışılan tipi seçecektir. Bu veriler makineler ve malzemelerle ilgili oluşturulan tablodan dinamik olarak çekilmektedir.

Makine-tip seçimi tamamlandıktan sonra "Seç" butonu tıklanır. Bu işlem hem seçilen verilerin Excel'de düzenlenmesini, yapılan hesaplamalarda kullanılan değerlerin güncel ve doğru olmasını hem de işlemin devamında kullanılacak forma, değerlerin atanmasını sağlamaktadır.

"Seç" butonunun tıklanmasıyla aktarılan veriler ve bu verilere bağlı olarak elde edilen sonuçlar formda yer almaktadır. Kullanılan makinelerde çalışılan tipler için gerekli olan toplam malzeme miktarları ve bulunan uygun rotaya göre yapılan MTM analizi sonucunda bu malzemeleri bırakmak ve kullanılmış malzemeleri toplamak için yapılan turun ortalama çevrim süresi, form yardımıyla fazladan işleme gerek kalmadan görülebilmektedir.

İşlem seçim menüsünden "Makine-Tip Seçimi" seçeneğinin seçilmesi durumunda Şekil 3'te ortada yer alan form, "Güncelleme" seçeneğinin seçilmesi durumunda ise sağdaki form görülecektir.

Güncelleme işleminin seçilmesinden sonra ekrana gelen güncelleme menüsünde "Takım Numarası" ve "Tip" için seçilen değerlere göre diğer alanlar otomatik olarak forma yazılmaktadır. Bu özelliklerden herhangi birinde değişiklik yapılarak "Güncelle" butonuna tıklanması, verilerin dosya üzerinde değiştirilmesini sağlamaktadır. "Takım Numarası" ve "Tip" için seçi-



Şekil 3. İşlem Seçim, Makine-Tip Seçme ve Güncelleme Menüleri

len değerlerin ilişkili olmaması durumunda ise form otomatik olarak kapanmaktadır.

4.3 Taşıma Aracının Seçimi

İhtiyaç duyulan malzeme miktarına ve aracın işletme içinde kullanılabilme durumuna bakılarak uygun özelliklere sahip alternatif araçlar araştırılmış, işletmenin beklentilerini karşılayan araç seçimi gerçekleştirilmiştir.

Alternatif taşıma araçlarının değerlendirilmesi ve uygun olanın seçilmesi aşamasında AHP yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle yeni aracın seçilmesi işleminde, araç seçim kriterlerinin belirlenmesi için çalışanlara anket çalışması yapılmıştır. Anket sonuçlarında belirlenen kriterlere uyan alternatif araçların bulunduğu katalogdan kriterlere uygun araç seçimi gerçekleştirilmiştir. Yöntem doğrultusunda oluşturulan adımlar aşağıdaki gibidir;

• Kriterlerin Belirlenmesi

Alternatif araçlardan birinin seçilmesini kolaylaştırmak ve istenen özelliklerde bir araç seçimi gerçekleştirmek için, fabrikada yapılan düzenli toplantılarda alınan notlar ve yapılan anket sonucunda satın alınacak araçtan istenilen özellikler aşağıdaki gibidir:

A- Aracın Teknik Özellikleri ile İlgili Kriterler

1. Kullanıcı dostu olması
2. Kolay kullanım
3. Batarya ömrünün uzun olması
4. Çekme kapasitesinin uygun olması

B- Aracın Uygulamaya Yönelik Özellikleri ile İlgili Kriterler

1. Taşıma kapasitesinin uygun olması
2. Esnek olması, istenilen ihtiyaçlara kolay uyum sağlayabilmesi
3. Ergonomik olması
4. Taşınacak malzemelere uygun olması

C- Aracın Satın Alındığı Firmanın Özellikleri ile İlgili Kriterler

1. İşletmeye yakın bir yerde ikamet etmesi ya da sürekli iletişim halinde olması
2. Servis garantisi

3. Firmanın yurt içi ve yurt dışı referanslarının olması ve güvenilirliği

D- Maliyet

• Alternatiflerin Belirlenmesi

Kriterler tanımlandıktan sonra üzerinde seçim kararının verileceği birtakım alternatif seçenekler belirlenir. Bu aşamada oluşturulan alternatif araç kataloğundan yararlanılmıştır. Bu alternatifler belirlendikten sonra firmaların satış ve teknik bölümlerindeki yetkililerle görüşülerek taşıma araçları ve sistemleri hakkında detaylı bilgiler alınmıştır.

• Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

AHP'nin en önemli aşaması hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. Bu aşama belirlenen problemin hiyerarşilere ayrıştırılması aşamasıdır. Birinci aşamada belirlenen amaçtan başlayarak ikinci aşamada belirlenen kriterlere ve son olarak üçüncü aşamada belirlenen alternatiflere göre bir hiyerarşik yapı oluşturulur.

• Nispi Önem Ölçeğinin Belirlenmesi

Bu aşamada bir sonraki aşamada yapılacak olan ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması için gerekli olan sayılar belirlenir. Yani kriterlerin önem derecelerini ifade etmek için sayılardan oluşturulmuş bir ölçek belirlenir. Bu çalışmada, Saaty (2000) tarafından geliştirilmiş olan göreceli önem ölçeği kullanılmıştır.

• Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Anket sonucunda belirlenen kriterlerin ve araştırmalar sonucunda kriterlere uygun olan alternatif araçların, her biri için matrisler oluşturulmuş ve nispi önem ölçeklerine göre karşılaştırma yapılmıştır.

• Tutarlılık Analizinin Yapılması

Tutarlılık analizi, ikili karşılaştırma sonucunda elde edilen değerlerin yani önceliklerin birbirleriyle olan mantıksal ve matematiksel ilişkidir. Tutarlılık analizi yapılarak ikili karşılaştırmaların tutarlılık derecesi ölçülür. Tutarlılık oranı adı verilen bu ölçü, karar vericilerin ikili karşılaştırmalardaki yanlış değerlendirmeleri tespit edebilmelerine imkân verir. Tüm seviyelerin tutarlılık analizleri hesaplanmış ve yapılan tutarlılık analizleri sonunda analizlerin hiçbirinin 0,10'dan büyük olmadığı görülmüştür.

• Kriterler ve Problemin Tümü İçin Toplam Önceliklerin Hesaplanması

Bu aşamada, problemin çözüm aşamalarında elde edilen önceliklerden hareket edilerek genel amaç açısından öncelikler belirlenir. Burada her bir kritere bağlı olarak her alternatife ilişkin öncelikler bir matris şeklinde düzenlenir ve bu matrisin her sütunu, bu sütundaki kriterlerin önceliği ile çarpılır ve bu çarpımlar satırlar boyunca toplanır. Böylece her bir alternatife ilişkin öncelikler vektörü elde edilmiş olur. Kriterler ve problemin tümü için toplam öncelikler hesaplanıp tüm alternatif araçlar için Tablo 1'deki sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek skoru alan Alternatif-1 uygun araç olarak seçilmiştir.

Tablo 1. AHP'ye Göre Alternatif Araçların Bulunan Değerleri

Alternatif-1	0,30
Alternatif-2	0,15
Alternatif-3	0,17
Alternatif-4	0,12
Alternatif-5	0,05
Alternatif-6	0,04
Alternatif-7	0,02
Alternatif-8	0,05
Alternatif-9	0,09

Seçilen aracın taşıma kapasitesi, toplamda 240 adet malzemeyi taşıyabilecek şekilde düzenlenmiş iki adet raftan oluşmaktadır. Ancak kullanıma hazır malzemeler ile kullanılmış malzemelerin birbirine karıştırılmaması için alt ve üst raf olarak ikiye ayrılmıştır. Bu nedenle tur bazında dağıtılacak malzemelerin kapasitesi 120 adet ve toplanması gereken malzemelerin kapasitesi de 120 adet olarak belirlenmiştir. Taşıma aracının bir adet olması nedeniyle dağıtma ve toplama işlemi aynı araç tarafından yapılacaktır. Bu nedenle araç kapasitesini aşmamak kaydıyla tüm duraklara uğrayıp, turluk ihtiyaçları karşılayarak turluğunu tamamlaması gerekmektedir.

4.4 Stok Seviyelerinin Düzenlenmesi

Takımlar için çekme prensibiyle çalışan bir tedarik modeli oluşturulmuştur. Stok seviyeleri; tekrar tedarik zamanı, lot büyüklüğü, maksimum müşteri çekme miktarı, güvenlik stoğu parametrelerini dikkate alan Bosch kanban hesaplama formülü ile belirlenerek kontrol altına alınmıştır.

Bosch A.Ş.de kullanılmakta olan kesici takımların bilgilerini içeren veri dosyasında takımların ömürleri, verimlilikleri, malzemenin makinede kaç adet kullanıldığı, malzemenin kullanıldığı makine sayısı, makinenin vardiyalık kapasitesi gibi bilgiler kullanılarak malzemeler için günlük ihtiyaç miktarları belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Günlük Takım İhtiyaçlarının Hesaplanması

Takım Kodu	Makine Adı	Takım Ömrü	Takım Verimlilikleri	Kullanılan Takım Adedi (adet/makine)	Çalışılan Makine Sayısı	Vardiyalık Makine Kapasitesi	Günlük İhtiyaç (1 makine için)	Günlük İhtiyaç (Tüm makineler için)
Takım 1	Makine A	750	95%	1	2	350	1,47	2,94
Takım 2	Makine A	500	90%	1	1	350	2,33	2,33
Takım 3	Makine A	750	75%	1	1	350	1,87	1,87
Takım 4	Makine A	375	95%	2	1	350	2,95	2,95
Takım 5	Makine A	750	80%	1	1	350	1,75	1,75
Takım 6	Makine A	500	50%	1	1	350	4,20	4,20
Takım 7	Makine A	500	95%	1	1	350	2,21	2,21
Takım 8	Makine A	500	80%	1	1	350	2,63	2,63
Takım 9	Makine A	500	55%	1	1	350	3,82	3,82
Takım 10	Makine A	500	95%	1	1	350	2,21	2,21
Takım 11	Makine B	250	95%	1	2	325	4,11	8,22
Takım 12	Makine B	1250	60%	1	2	325	1,30	2,60
Takım 13	Makine B	500	95%	1	2	325	2,05	4,10
Takım 14	Makine B	375	95%	1	2	325	2,74	5,48
Takım 15	Makine B	500	95%	1	2	325	2,05	4,10
Takım 16	Makine B	375	95%	1	2	325	2,74	5,48
Takım 17	Makine B	500	55%	1	2	325	3,55	7,10
Takım 18	Makine B	375	55%	1	2	325	4,73	9,46
Takım 19	Makine B	1000	95%	1	2	325	1,03	2,06
Takım 20	Makine B	500	65%	1	2	325	3,00	6,00

Oluşturulan kanban hesabıyla günlük ihtiyaçlar düzenlenmiş ve stok noktalarında bulunması gereken minimum-maksimum malzeme adetleri belirlenmiştir. Çalışmanın örneği bir makine grubu için Tablo 3'te verilmiştir.

4.5 Stok Noktalarının Uygunluğu

Yapılan MTM analizi ile çalışanların mevcut durak yerlerine ekstra yürüme mesafesi olduğu görülmüş ve durak yerlerinin konumu ile ilgili iyileştirme yapılmasının gerekliliği tespit edilmiştir (Ek 1). Bu amaçla durak yerlerinin konumu incelenerek Milkrun standartlarına uyan yeni konumlar belirlenmiştir (Ek 2).

4.6 Matematiksel Model

Belirlenen duraklar arasında, uygun olan en kısa yolun elde edilmesini sağlayacak tamsayı matematiksel model; duraklar arasındaki uzaklıklar, taşıma aracının kapasitesi, taşınacak parça miktarı, makinelerin ihtiyaç duyduğu miktar gibi kısıtlar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Bosch A.Ş.de yapılmış olan proje kapsamında üretim ile malzeme tedarikini sağlayan hizmet bölümü arasında uygun rotanın oluşturulup standart hâle getirilmesi amaçlanmıştır. İşletme, üretim bölümünde bulunan mevcut durakların tamamına uğrayan ve toplam uzunluğu en küçükleyen bir rota oluşturulmasını istemiştir. Dolayısıyla amaç fonksiyonu minimum süreyi sağlayacak şekilde oluşturulmuştur.

Taşınan malzemelerin adedi, üretimi yapılacak ürün tiplerine göre farklılık göstermektedir. Üretilen tiplerin çeşitleri ve adetleri aylık olarak takım ön ayar atölyesine bildirilmektedir. Hangi malzemeden

kaç adet tüketileceği bilgisine makinenin vardiyalık kapasitesi, malzemenin ömrü, malzemenin verimliliği, üretilen tipin kaç makinede çalışıldığı gibi bilgiler göz önüne alınarak, her malzeme için günlük tüketim miktarları belirlenmiş ve turluk malzeme ihtiyacı ise günlük tüketim miktarının tur sayısına oranı ile elde edilmiştir. Her stok noktasına bırakılması gereken malzemelerin turluk tüketim miktarları toplanarak talep matrisi elde edilmiştir.

Yapılan kabuller eşliğinde ve önerilen yöntem doğrultusunda oluşturulan model aşağıdaki gibidir:

Karar Değişkenleri;

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ duraktan } j. \text{ durağa gidiliyor ise,} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Parametreler;

- C_p : $p = 1$ ise durakların ihtiyaç duyduğu malzemeler için araç kapasitesi (adet),
 $p = 2$ ise duraklardan toplanan malzemeler için araç kapasitesi (adet)
- n : Toplam durak sayısı (adet)
- S : Araçlar için alt turun olmadığı çözüm kümesi
- a_{1j} : Takım ön ayar atölyesinden j . durağa götürülecek malzeme miktarı (adet)
- b_{i1} : i . duraktan takım ön ayar atölyesine götürülecek kullanılmış malzeme miktarı (adet)
- m_{ij} : i . duraktan j . durağa gidildiğinde j . durağa bırakılacak malzeme miktarı (adet)
- n_{ij} : i . duraktan j . durağa gidildiğinde j . duraktan toplanacak malzeme miktarı (adet)
- c_{ij} : i . ve j . durakları arasındaki mesafe (metre) ($i=1,2,\dots,n$) ve ($j=1,2,\dots,n$)
- d : Takım ön ayar atölyesinden çıkarken araçta

Tablo 3. Stok Seviyelerinin Belirlenmesi

Takım Kodu	Stok (gün)	Paket şekli	Toplam Stok	Paket Adeti	Talepl Gün	Talepl Saat	K	RE	PR	Tk.On Ayar (dk.)	Bil. Süresi (dk.)	Bekleme (saat)	Kap. Süresi (saat)	RT-loop (hr)	SNP	NPT	LO	LS	WI	WA	SA	ST	TI	T Cust.	T Sup.	Günlük İhtiyaç	Vardiya Sayısı	Vardiyalık İhtiyaç	KIRMIZI Min.	YEŞİL Max.
Takım111	0,7	Tutucu	33,0	1	45,9	1,9	11	0,1	1,9	6,50	0,00	0	0	0,1	3	1,00	0,0	1,00	3,0	10	7,6	12	0,0	144	144	45,88	3	15,29	3	11
Takım112	1,9	Tutucu	4,0	1	2,1	0,1	4	0,0	0,1	6,50	0,00	0	0	0,1	1	1,00	0,0	1,00	1,0	2	2,1	24	0,0	144	144	2,12	3	0,71	1	4
Takım113	1,9	Tutucu	12,0	1	6,4	0,3	12	0,0	0,3	6,50	0,00	0	0	0,1	1	1,00	0,0	1,00	5,0	6	6,4	24	0,0	144	144	6,35	3	2,12	3	12
Takım114	2,2	Tutucu	10,0	1	4,5	0,2	10	0,0	0,2	6,50	0,00	0	0	0,1	1	1,00	0,0	1,00	5,0	6	4,5	24	0,0	144	144	4,50	3	1,50	3	10
Takım115	3,8	Tutucu	20,0	1	5,3	0,2	2	0,0	0,2	6,50	0,00	0	0	0,1	10	1,00	0,0	1,00	0,5	6	0,5	24	0,0	144	144	5,29	3	1,76	1	2
Takım116	0,7	Tutucu	11,0	1	15,0	0,6	11	0,1	0,6	6,50	0,00	0	0	0,1	1	1,00	0,0	1,00	5,0	6	5,0	8	0,0	144	144	15,00	3	5,00	3	11
Takım117	3,8	Tutucu	20,0	1	5,3	0,2	2	0,0	0,2	6,50	0,00	0	0	0,1	10	1,00	0,0	1,00	0,1	2	0,5	24	0,0	144	144	5,29	3	1,76	1	2
Takım118	3,8	Tutucu	20,0	1	5,3	0,2	2	0,0	0,2	6,50	0,00	0	0	0,1	10	1,00	0,0	1,00	0,1	2	0,5	24	0,0	144	144	5,29	3	1,76	1	2

bulunan duraklara götürülecek toplam malzeme miktarı (adet)

- e : Takım ön ayar atölyesine dönüldüğünde araçta bulunan kullanılmış malzeme miktarı (adet)
 t_1 : Aracın normal koşullarda bir metrelik mesafeyi gidiş süresi (s/m)
 t_2 : Operatörün bir takımı araçtan alıp rafa koyma ya da raftan alıp araca koyma süresi (s/adet)
 $i, j=1$ Takım ön ayar atölyesini ifade etmektedir.

Amaç fonksiyonu;

$$Enk z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \cdot t_1 + a_{1j} \cdot x_{ij} \cdot t_2 + b_{i1} \cdot x_{ij} \cdot t_2 \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (i = 1, \dots, n; j \neq i) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1, \dots, n; i \neq j) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{1j} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq |S| - 1 \quad (\forall S \subset N; 2 \leq S \leq n - 2) \quad (6)$$

$$a_{1j} \cdot x_{ij} = m_{ij} \quad (7)$$

$$b_{i1} \cdot x_{ij} = n_{ij} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij} = d \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n n_{ij} = e \quad (10)$$

$$d \leq C_1 \quad (11)$$

$$e \leq C_2 \quad (12)$$

Duraklar arasındaki malzeme taşıma süresini en aza indiren rotanın oluşturulması, (1) ile ifade edildiği gibi matematiksel modelde amaçlanmıştır.

Yukarıdaki kısıtlardan kısıt (2) ve kısıt (3) derece kısıtlardır. Bunlar her durağa sadece bir kere gidilmesini ve her duraktan sadece bir defa çıkılmasını sağlar.

Kısıt (4) ise rota başlangıcında aracın ana duraktan çıkacağını belirten kısıttır. Kısıt (5) aracın ana durağa dönmesini belirtmektedir. Kısıt (6) S bağlı düğümler alt kümesinde sadece bir tane tur olmasını sağlar.

$x_{ij} = 0-1$ karar değişkenini ifade eder. Burada eğer $x_{ij} = 1$ ise, araç rotalama problemleri kapsamındaki araç, i. duraktan j. durağa gidiyor, $x_{ij} = 0$ ise i. duraktan j. durağa gitmiyor demektir. Bu sayede tüm duraklara uğrayan kapalı bir döngü oluşturulması amaçlanmıştır.

Kısıt (7) ile her bir durağa götürülecek malzeme miktarı, o durağın ihtiyaç duyduğu malzeme miktarı kadar olmasını sağlayan kısıttır. Kısıt (8) ile her bir duraktan takım ön ayar atölyesine götürülecek malzeme miktarının, o duraktan toplanan kullanılmış malzeme miktarları kadar olmasını sağlayan kısıttır.

Kısıt (9), “ i. duraktan j. durağa gidildiğinde bırakılacak olan malzeme miktarlarının toplamı, aracın tur başlangıcındaki doluluk miktarına eşittir” ifadesini sağlar. (10) numaralı kısıt ise “i. duraktan j. durağa gidildiğinde toplanan malzeme miktarlarının toplamı, aracın tur sonundaki doluluk miktarına eşittir” ifadesini sağlar. (11) numaralı kısıt ile tur başlangıcında aracın doluluk miktarı aracın kullanıma hazır malzemeler için ayrılmış kapasitesini aşmamalıdır. (12) numaralı kısıt ile tur sonunda aracın doluluk miktarı aracın kullanılmış malzemeler için ayrılmış kapasitesini aşmamalıdır.

5. SONUÇ

Proje kapsamında tüm takım-tutucular için çekme sistemi kurulmuş, Milkrun döngüsü oluşturulmuştur. Her takım-tutucu eşleşmesi için optimum stok miktarı, kanban adetleri Bosch kanban formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Üretim ihtiyaçlarına göre stok noktaları belirlenmiştir. FIFO prensibi ile çalışacak raflar tasarlanmıştır. EZDTARP kullanılarak matematiksel

model oluşturulmuş, CPLEX ile çözümlenerek sabit bir rota saptanmıştır (Şekil 4). MTM-Logistic-Time-Data kullanılarak tur süresi hesaplanmıştır. Milkrun'da kullanılacak akülü taşıma aracı AHP kullanılarak seçilmiştir.

6. GETİRİLER

Malzemelerle ilgili veriler tek bir dosyada toplanmış, linklerle birbirine bağlanmış, makro yazılarak verilerin değerlendirilmesi, güncellenmesi ve verilere ulaşılması kolay bir hâle getirilmiştir.

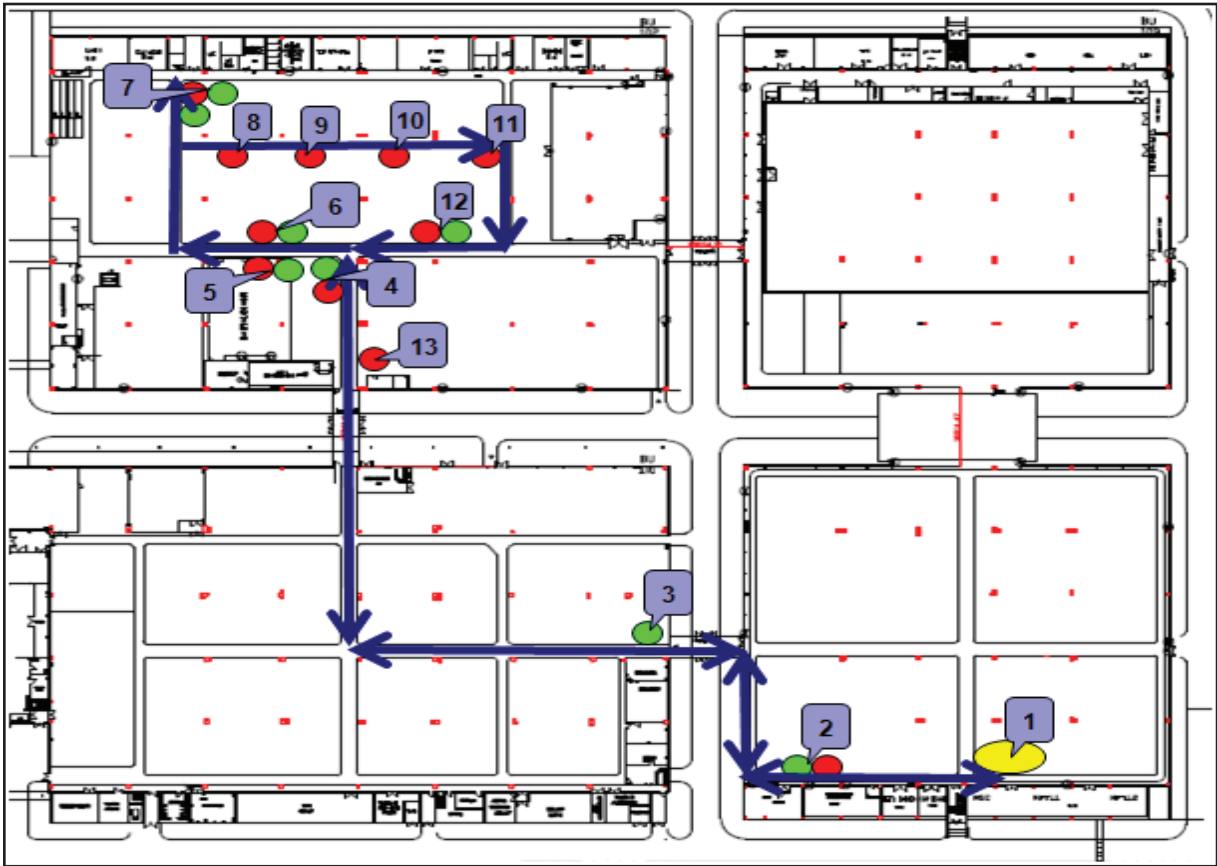
Stok noktalarının büyüklükleri ve yerleri gözden geçirilmiş, Milkrun sistemine uygun yerde bulunmayan stok noktaları için yeni yerler gerekli değerlendirmeler yapılarak belirlenmiştir. FIFO sistemine uygun olmayan stok noktalarının, FIFO sistemine uygun hâle getirilmesi sağlanmıştır.

Araç rotalama problemlerinden biri olan EZZ-TARP temel alınarak matematiksel model oluşturulmuş, çözülmüş ve en kısa süreyi veren rota bulunmuştur. Elde edilen sonuca göre standart bir rota oluşturulmuştur.

6.1 Çevrim Süresi

Sonuç olarak optimum stok seviyelerinde üretim ihtiyaçlarına yanıt veren, FIFO prensibiyle çalışan kanbanla kontrol edilen minimum süreli rota üzerinde otomatik bir araçla takım ve tutucuların tedarik edildiği bir sistem kurulmuştur. Mevcut ve iyileştirilen durum için yapılan MTM analizleri sonucunda, taşıma için ayrılan süre %49,85 oranında azaltılmıştır. Takım tedarigi için kontrol altında bulunan iyileştirmeye açık bir sistem oluşturulmuştur.

Tur sıklığının ise dağıtılacak malzeme sayısı kadar



Şekil 4. Kesici Takım Milkrun Rotası

toplanacak malzemelerin de önemli olması nedeniyle ve yapılan MTM analizleri sonucu yemek molaları haricinde her saatte yapılması uygun görülmüştür.

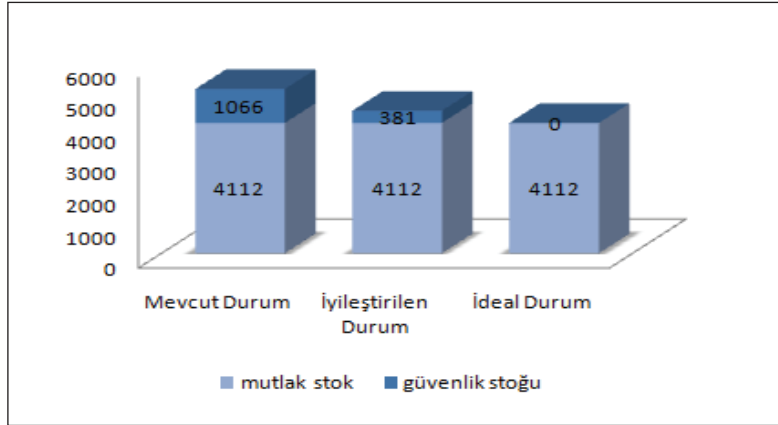
6.2 İş Gücü

Önceki durumda, manuel taşıma aracının kapasitesinin yetersiz olması ve Milkrun sistemine uymaması nedeniyle, alternatif taşıma yöntemleri ve taşıma araçları değerlendirilmiş; sisteme uygun Milkrun aracı AHP yöntemi ile seçilmiştir. Önceki durumda, taşımalar takım ön ayar atölyesinin altı çalışanı ile günlük iş yüklerine ilave olarak bir el arabasıyla yapılmakta iken imalat alanının büyüklüğü nedeniyle toplam taşıma

mesafesi günde 24 km'yi aşmaktaydı. İyileştirilen durumda seçilen aracın otomatik olması, kapasitesinin yeterli olması nedeniyle taşıma işi bir kişi tarafından yapılabilmektedir, ayrıca bulunan minimum mesafeli uygun rota sayesinde iş gücünde %83,35 oranında iyileşme sağlanmıştır.

6.3 Kazanç

Önceki sistemde üretimde kontrolsüz stok noktaları bulunmakta, takımların geriye dönük takibi yapılamamakta, düzensiz malzeme çekışı yaşanmaktaydı. Bu çalışmada, toplanan veriler sayesinde her bir takım için kanban hesabı yapılarak üretimdeki stok mik-



Şekil 5. Üretimde Bulunan Toplam Takım Adetleri

Tablo 4. Kullanılan Takımların Yerine Kullanıma Hazır Yeni Takımların Gelme Süresi ile İlgili Örnek Çalışma

08:00	Taşıma aracının takım ön ayar atölyesinden çıkması
08:10	Taşıma aracının ikinci takım durağına gelmesi
08:15	Taşıma aracının ikinci takım durağından ayrılması
08:16	x takımının takım durağına bırakılması
08:40	Taşıma aracının takım ön ayar atölyesine gelmesi
09:00	Taşıma aracının takım ön ayar atölyesinden çıkması
09:10	Taşıma aracının ikinci takım durağına gelmesi
09:15	Taşıma aracının ikinci takım durağından x takımıyla ayrılması
09:40	Taşıma aracının x takımıyla takım ön ayar atölyesine gelmesi
10:00	Taşıma aracının takım ön ayar atölyesinden çıkması
10:10	Taşıma aracının ikinci takım durağına gelmesi
10:15	Taşıma aracının ikinci takım durağından ayrılması
10:40	Taşıma aracının takım ön ayar atölyesine gelmesi
11:00	Taşıma aracının takım ön ayar atölyesinden x takımıyla çıkması
11:10	Taşıma aracının ikinci takım durağına gelmesi
11:15	Taşıma aracının ikinci takım durağından x takımını bırakarak ayrılması

tarları belirlenmiştir. Buna göre sekiz saatlik emniyet stoğu ile önceki duruma yakın; ancak kontrol altına alınmış, üç saatlik emniyet stoğu ile iyileştirilmiş durum ve sıfır güvenlik stoğu ile hedeflenen durum için, üretimde bulunması gereken toplam takım adetleri hesaplanmıştır (Şekil 5). Bu projede, iyileştirmelere açık dinamik bir sistem oluşturulduğundan ideal durumda güvenlik stoğuna ihtiyaç duyulmadan sistemin çalışması hedeflenebilir.

Önceki durumda sistem kontrol altına alındığında güvenlik stoğu sekiz saate göre düzenlenmiştir. Ancak yapılan çalışmalar sonucunda en kötü senaryonun ortaya çıkması durumunda dahi en fazla üç saat içerisinde üretimdeki stok noktasından kullanılmak için alınan kesici takımın yerine yenisi gelebilmektedir. Tablo 4'te verilen örnek çalışmada görüleceği gibi bir takımın kullanıldıktan sonra kullanıma hazır olarak üretimdeki stok noktasında bulunması için en fazla üç saatin yeterli olacağı görülmüştür. Bu proje ile tutucu ve takım stoklarının maliyeti %13.23 oranında azaltılmıştır.

7. KAYNAKÇA

1. Ai, T., Kachitvichyanukul, V. 2009. "A Particle Swarm Optimization for The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery," *Computers & Operations Research*, 36, 1693-1702.
2. Bianchessi, N., Righini, G. 2009. "Heuristic Algorithms For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pick-Up And Delivery," *Computers & Operations Research*, 34, 578-594.
3. BOSCH A.Ş. 2010. *Cyclic Material Supply (Milkrun) BOSCH Production System, Element Description Document*.
4. BOSCH A.Ş. 2006. *MTM-Logistic-Time-Data Eğitim Notları*.
5. Dantzig, G.B., Ramser, J.H. 1959. "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, 6(1), 80-91.
6. Dethloff, J. 2001. "Vehicle Routing and Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up," *OR Spektrum*, 23, 79-96.
7. Gencer, C., Yaşa, Ö. 2007. "Ulaştırma Komutanlığı Ring Seferlerinin Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Karar Destek Sistemi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3),437-449.
8. Min, H. 1989. "The Multiple Vehicle Routing Problems with Simultaneous Delivery and Pick-up points," *Transportation Research A*, 23(5), 377-386.
9. Nagy, G., Salhi, S. 2005. "Heuristic Algorithms for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries," *European Journal Of Operational Research*, 162(1): 126-141.
10. Saaty, T.L. 2000. *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York, RWS Publications.
11. Montane, F.A. Galvao, R.D. 2006. "A Tabu Search Algorithm for The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick Up and Delivery Service," *Computers & Operations Research*, 33, 595-619.
12. Yurtkuran, A. 2009. "Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Yeni Bir Meta-Sezgisel Yaklaşım: Elektromanyetik Algoritma," *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi.

Ek 1.a. Mevcut Durum İçin MTM Çalışması

No	Tanım	Kod	Süre (s)	Mesafe (m)	Sıklık (adet)	Toplam Sıklık	Toplam Süre (s)	
1	Araca binip çalıştırma	F-FIB	12	—	1	1	12	
2	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
3	Anaduraktan B1 durağına sürme	F-FEB	1	13	1	13	13	
4	Durağa doğru yürüme	H-KA	1	5	4	20	20	
5	Takım alıp bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
6	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	5	4	20	20	
7	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
8	B1 den B2 durağına sürme	F-FEB	1	22	1	22	22	
9	Takım alıp bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
10	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
11	B2 den B6-K11-K12 duraklarına sürme	F-FEB	1	223	1	223	223	
12	Takım alıp bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
13	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	1	4	4	4	
14	Arabadan K5 durağına yürüme	H-KA	1	14	4	56	56	
15	Takım alma	H-AB	2	—	4	4	8	
16	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	14	4	56	56	
17	Arabadan K9 durağına yürüme	H-KA	1	22	4	88	88	
18	Takım alma	H-AB	2	—	4	4	8	
19	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	22	4	88	88	
20	Arabadan K6 durağına yürüme	H-KA	1	31	4	124	124	
21	Takım alma	H-AB	2	—	4	4	8	
22	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	31	4	124	124	
23	Arabadan B4-B5 duraklarına yürüme	H-KA	1	47	4	188	188	
24	Takım bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
25	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	47	4	188	188	
26	Arabadan B3 durağına yürüme	H-KA	1	3	4	12	12	
27	Takım bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
28	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	3	4	12	12	
29	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
30	B3 durağından B7 durağına sürme	F-FEB	1	69	1	69	69	
31	Takım bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
32	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
33	B7 durağından K14 durağına sürme	F-FEB	1	38	1	38	38	
34	Takım alma	H-AB	2	—	4	4	8	
35	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
36	K14 durağından K15 durağına sürme	F-FEB	1	11	1	11	11	
37	Takım alma	H-AB	2	—	4	4	8	
38	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
39	K15 durağından K7 durağına sürme	F-FEB	1	45	1	45	45	
40	Takım alma	H-AB	2	—	4	4	8	
41	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
42	K7 durağından K8 durağına sürme	F-FEB	1	32	1	32	32	
43	Takım alıp bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
44	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
45	K8 durağından K13 durağına sürme	F-FEB	1	31	1	31	31	
46	Takım alıp bırakma	F-FEB	1	—	4	4	4	
47	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
48	K13 durağından K3 durağına sürme	F-FEB	1	83	1	83	83	
49	Takım alıp bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
50	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
51	K3 durağından K10 durağına sürme	F-FEB	1	7	1	7	7	
52	Takım alıp bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
53	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
54	K10 durağından K4 durağına sürme	F-FEB	1	14	1	14	14	
55	Durağa doğru yürüme	H-KA	1	10	4	40	40	
56	Takım alıp bırakma	H-AB	2	—	4	4	8	
57	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	10	4	40	40	
58	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	—	1	1	2	
59	K4 durağından Ana durağa sürme	F-FEB	1	269	1	269	269	
TOPLAM							2032	s.
							33,9	dk.

EK 1.b. İyileştirilen Durum İçin MTM Çalışması

No	Tanım	Kod	Süre (s)	Mesafe (m)	Sıklık (adet)	Toplam Sıklık	Toplam Süre (s)	
1	Aracı binip çalıştırma	F-FIB	12	–	1	1	12	
2	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
3	Anaduraktan B1 durağına sürme	F-FEB	1	13	1	13	13	
5	Takım alıp bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
7	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
8	B1 den B2 durağına sürme	F-FEB	1	22	1	22	22	
9	Takım alıp bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
11	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
12	B2 den B6-K11-K12 duraklarına sürme	F-FEB	1	223	1	223	223	
14	Takım alıp bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
15	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	22	4	88	88	
16	Arabadan B3 durağına yürüme	H-KA	1	3	4	12	12	
18	Takım bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
19	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	3	4	12	12	
21	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
22	B3 durağından B7 durağına sürme	F-FEB	1	69	1	69	69	
24	Takım bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
25	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
26	B7 durağından K13 durağına sürme	F-FEB	1	30	1	30	30	
28	Takım alma	H-AB	2	–	4	4	8	
29	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
31	K13 durağından K5 durağına sürme	F-FEB	1	20	1	20	20	
32	Takım alma	H-AB	2	–	4	4	8	
34	K5 den K9a yürüme	H-KA	1	3	4	12	12	
35	Takım alma	H-AB	2	–	4	4	8	
36	Arabaya doğru yürüme	H-KA	1	3	4	12	12	
38	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
39	K5 durağından K8 durağına sürme	F-FEB	1	12	1	12	12	
41	Takım alma	H-AB	2	–	4	4	8	
42	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
44	K8 durağından K7 durağına sürme	F-FEB	1	32	1	32	32	
45	Takım alıp bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
46	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
48	K7 durağından K3 durağına sürme	F-FEB	1	60	1	60	60	
49	Takım alıp bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
51	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
52	K3 durağından K10 durağına sürme	F-FEB	1	7	1	7	7	
54	Takım alıp bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
55	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
56	K10 durağından K4 durağına sürme	F-FEB	1	14	1	14	14	
58	Takım alıp bırakma	H-AB	2	–	4	4	8	
59	Aracı harekete geçirme durdurma	F-FEA	2	–	1	1	2	
61	K4 durağından Ana durağa sürme	F-FEB	1	269	1	269	269	
TOPLAM							1012	s.
							16,9	dk.

Ek 2. İyileştirilen Yerleşim Planı

