

## FABRİKA İÇİ LOJİSTİK SÜREÇLERİNİN SET YAPMA ESASLI TASARIMI VE BİR UYGULAMA

*Emre ÇEVİKCAN \**

*Eda SOL \**

*Şule İtir SATOĞLU \**

*Mehmet Bülent DURMUŞOĞLU \**

Alınma:27.08.2018; düzeltme: 01.12.2018; kabul:10.12.2018

**Öz:** Yalın lojistik, yalın düşünce çerçevesinde, gerek fabrika içi, gerekse müşteri-tedarikçi firmalar arası katma değeri olmayan malzeme taşıma ve depolama süreçlerinin ortadan kaldırılmasını amaçlar. Bu kapsamda, üretim içinde montaj istasyonlarına gerekli olan parçaların ihtiyaç duyulan miktarda, tam zamanında, sistematik ve etkin bir biçimde beslenmesi gerekmektedir. Ancak ürünlerin farklı modellerinde ortak olmayan parça çeşitliliğinin artması, ürün taleplerinin değişken hale gelmesi gibi nedenlerle montaj hatlarına malzeme besleme konusunda yenilikçi yaklaşımlar izlenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Set halinde teslimat bu tür yenilikçi bir fabrika içi malzeme besleme yaklaşımıdır. Bu çalışmada, montaj hatlarına set yapma esaslı malzeme beslemeye yönelik bir metodoloji geliştirilmesi ve böylece fabrika içi lojistik süreçlerinin etkin bir şekilde planlanmasını ve yönetilmesini sağlamak amaçlanmıştır. Ayrıca gerçek bir uygulama örneği ile önerilen metodoloji açıklanmıştır. Makalenin özgün yönü, set yapma temelli malzeme beslemeye yönelik tüm aşamaları içeren, bütünsel bir yaklaşım geliştirilmesi ve metodolojinin birçok endüstri dalında uygulanabilecek nitelikte olmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Fabrika içi lojistik, bütünlük set esaslı parça besleme sistemi, montaj hatları

### Kitting-Based Design of the In-plant Logistics Processes

**Abstract:** Lean logistics aims elimination of the non-value adding material handling and storage processes both within the plants and among the supplier and customer companies, based on lean thinking. In this context, the required parts must be delivered effectively and systematically to the assembly stations, as much as required and just-in time. However, due to the increase in the uncommon parts variety, and erratic product demands, some new approaches of parts distribution to the assembly lines is strongly required. Kitting or kit-delivery is one of these new approaches. In this study, it is aimed to develop a parts delivery methodology based on kitting and hence to plan and manage in-plant parts distribution processes, effectively. In addition, based on a real case study, the proposed methodology is explained. The unique aspect of this study is that an integrated methodology that considers all stages of parts delivery based on kitting is proposed, and the developed methodology can be applied to many industrial sectors.

**Keywords:** In-plant logistics, integrated kitting-based parts feeding system, assembly lines

## 1. GİRİŞ

Yalın lojistik ilkeleri çerçevesinde, montaj istasyonlarına gerekli olan parçaların ihtiyaç duyulan miktarda, tam zamanında, sistematik ve etkin bir biçimde beslenmesi gerekmektedir (Baudin, 2005). Diğer deyişle, fabrika içerisinde katma değeri olmayan taşımaları engelleyerek gerekli malzemelerin istasyonlara düzenli biçimde dağıtımına ihtiyaç duyulur. Ancak ürünlerin farklı modellerinde ortak olmayan parça çeşitliliğinin artması, ürün taleplerinin değişken hale gelmesi gibi nedenlerle montaj hatlarına malzeme besleme konusunda yenilikçi yaklaşımlar izlenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Sürekli besleme sıklıkla uygulanan bir fabrika içi malzeme

\* İTÜ İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34367, Şişli, İstanbul.

Corresponding Author: Mehmet Bülent Durmuşoğlu ([durmusoglu@itu.edu.tr](mailto:durmusoglu@itu.edu.tr))

besleme sistemi olmakla birlikte çeşitli katma değeri olmayan işlemlere neden olmaktadır. Özellikle, montaj hatlarında model dönüşümlerinde farklı parçaların yarı-dolu kutularının depoya geri götürülmesi, bu kutuların içerisindeki parçaların yeniden sayılması sürekli besleme nedeniyle meydana gelen israflara örnek verilebilir. Set yapılarak, ürün bileşenlerinin bir kısmının grup halinde montaj istasyonlarına dağıtılması izlenebilecek yararlı ve güncel yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Kılıç ve Durmuşoğlu, 2012).

Set ya da diğer adıyla kit, bir veya birden fazla montaj operasyonunda kullanılan parçaların gruplanmış halini içeren kutuya verilen genel isimdir (Bozer ve McGinnis, 1992). Başka bir tanıma göre set, bir ürünü üretmek veya bir operasyonu tamamlamak için gerekli parçaların ve ekipmanların bir gruplaması olarak ifade edilebilir (Choobineh ve Mohebbi, 2004). Sürekli beslemede, ürünlerde kullanılacak parçalar kutular içerisinde görece büyük miktarlarda istasyonlara düzenli olarak dağıtılır ve hat yanında stoklanır. Set ile malzeme beslemede ise sürekli beslemeden farklı olarak, üründe kullanılacak bazı parçalar ürün ağacı bilgisi doğrultusunda bir set haline getirilerek, kutu içerisinde ilgili istasyona gönderilir. Her set genellikle el arabası, kutu, set arabası gibi uygun bir taşıyıcı içerisinde ilgili istasyona teslim edilir.

Set halinde malzeme beslemenin birçok yararı olduğu söylenebilir. Set esnekliğini artırır. Montaj hattına sadece set kapları taşındığı ve bunlar üretim sistemi içinde dolaştığı için yapılan mühendislik değişikliklerine daha kısa sürede yanıt verilebilir. Montaj hattında, ürünler arası değişim kolaylaşır. Ancak geleneksel malzeme besleme yöntemi olan kutular içinde sürekli malzeme beslemede ise farklı ürünlere ait parça kasalarının hat yanındaki raflara taşınması ve işlemler tamamlandıktan sonra yarı dolu kasaların depoya götürülmesi taşıma sayılarını artırmakta ve sistemin esnekliğini azaltmaktadır (Sellers and Nof, 1989). Set şeklinde malzeme besleme yönteminin özellikle büyük hacimli ve talep değişkenliğinin fazla olduğu sistemlerde malzeme hazırlık süresinin hat yerine depoda gerçekleştirilmesini sağlaması nedeniyle hattın dengelenmesine yardımcı olmaktadır (Jiao ve diğ., 2000).

Setlerin ilk seferde doğru şekilde hazırlanması söz konusu teslimat sisteminin verimli çalışabilmesi için en önemli etkidir. Bunun için siparişi toplayan çalışanın deneyimli montaj operatörleri arasından seçilmesi tercih edilir. Montaj operatörü parçaları daha iyi tanıdığı için hem siparişi daha hızlı toplar hem de hata olasılığı azalır. Ayrıca, setlerin tam zamanında hatta teslim edilebilmesi için parçaların temin sürelerindeki değişkenliğin yok edilmesi gereklidir. Diğer deyişle, parçaların istenilen zamanda ve miktarda set hazırlama alanında bulunması gerekir ve bu da yalnızca güçlü tedarikçi ilişkileri ile mümkün olabilir. Set içerisine konacak parçaların seçimi ve miktarı da önemli bir konudur. Günümüzde firmalar, montaj düzeyi sayısını azaltmak amacıyla yarı monteli parça sayısını azaltmaya çalışmaktadır. Çünkü montaj düzeyi ile set büyüklüğü ters orantılıdır. Ayrıca setlerin izlenebilmesi için set hazırlama alanı ile montaj istasyonları arasında güçlü bir bilgi akışının sağlanması gereklidir.

Bu çalışmada, montaj hatlarına set esaslı malzeme beslemeye yönelik bir metodoloji geliştirilmesi ve böylece fabrika içi lojistik süreçlerinin etkin bir şekilde planlanmasını ve yönetilmesini sağlamak amaçlanmıştır. Makalenin özgün yönü, set temelli malzeme beslemeye yönelik tüm aşamaları içeren, bütünsel bir yaklaşım geliştirilmesi ve metodolojinin birçok endüstri dalında uygulanabilecek nitelikte olmasıdır.

Makalenin akışı şu şekilde özetlenebilir: İkinci bölümünde konu ile ilgili literatür incelemesi sunulmuştur. Üçüncü bölümde geliştirilen metodoloji ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Sonraki bölümde, geliştirilen metodoloji, aydınlatma ürünleri üreten bir firmada uygulanarak sağlanan iyileştirmeler açıklanmıştır. Son bölümde ise sonuç ve öneriler sunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Montaj hatlarına malzeme besleme yaklaşımları, literatürde dörde ayrılmıştır: sürekli besleme (hat yanı stoklama), set yapma, Kanbanla malzeme besleme, melez yaklaşımlar (Kılıç ve Durmuşoğlu, 2015). Bunlara ilişkin ayrıntılı literatür taraması Kılıç ve Durmuşoğlu (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kanban temelli döngüsel seferlerle malzeme besleme

günümüzde, düzenli talep durumunda fabrika içi malzeme besleme için kullanılmaktadır (Satoğlu ve Şahin, 2013). Ancak talebin düzensiz olduğu koşullarda Kanban sisteminin uygulanması mümkün değildir. Fabrikalarda, farklı özelliklerde bileşenlerin montaj hatlarına beslenmesi gerektiğinde, birden fazla besleme tekniğinin uygulandığı “melez yaklaşımlar” da yaygınlaşmaktadır.

Set konusundaki ilk çalışmalardan biri Bozer ve McGinnis (1992) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, hat kenarına sürekli besleme ile set sistemleri ara stok, depo ve hat yanı alan gereksinimi, malzeme/parça/kasa taşıma ölçütleri bakımından kıyaslanarak, uygun sistemi seçmeye yönelik kavramsal bir model geliştirilmiştir (Bozer ve McGinnis,1992). Carlson ve diğ. (1994) küçük partiler halinde üretim yapan ana kart montaj hatları için set halinde teslimat sistemlerinin ürün kalitesi üzerindeki etkisini; Günther ve diğ. (1996) ise benzer montaj hatlarında set oluşturma işleyişini incelemiştir. Seller ve Nof (1989) robotik ve manüel set oluşturma sistemlerini karşılaştırmış ve robotik set sistemlerinin ürün değişimlerine çabuk uyum sağlayıp, daha doğru sipariş toplamasına rağmen işleyişinin daha karmaşık olduğunu belirtmiştir.

Bazı çalışmalarda, set sisteminin rassal ve dinamik koşullarda nasıl davrandığı incelenmiştir. Loveland ve diğ. (2007) ürün çeşitliliğinin ve talep değişkenliğinin fazla olduğu montaj hatlarında, setlerin oluşturulması için üç aşamalı bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde, öncelikle, ürünler hatlar arası talep dengesini sağlayacak şekilde paralel set oluşturma hatlarına atanır. Ardından, bu hatlara atanan ürün ailelerine ait parçalar set oluşturma hatlarındaki bölmelere atanır. Son aşamada çizelgeleme yapılır. Choobineh ve Mohebbi (2004) geliştirdiği malzeme planlama yaklaşımında, parça temin sürelerinin ve talebin belirsiz olduğu koşullarda set uygulamasını önermiş ve setler arası parça paylaşımına izin vermiştir. Bu sayede, gerekli setlerin zamanında hazırlayabilme becerisinin arttığını ve elde bulundurma maliyetlerinin düştüğünü göstermiştir. Ramachandran ve Delen (2005) ürün çeşitliliğinin fazla ve sipariş miktarlarının düşük olduğu montaj sistemlerinde set yapma süreçlerinin performansını, stokastik koşullar altında ve sınırsız ara stok kapasitesi varsayımıyla incelemiştir. Carlsson ve Hensvold (2008) hat yanı stoklama (sürekli besleme) ile set halinde besleme sistemlerini çeşitli ölçütler bakımından kıyaslamıştır. Bunlar: hat yanı stok alanı, set hazırlama alanı ihtiyacı, operatör yürüme mesafesi, set hazırlama süresi, hat kenarı stok miktarı, kasa taşımaları, günlük hat kenarı ve depo ikmal sayısı’dır. Ramakrishnan ve Krishnamurthy (2008) kuyruk modellerini kullanarak rassal parça varışları ve rassal parça temin sürelerinin, belli bir dönemde oluşturulan set sayısına, set hazırlama alanındaki ortalama kuyruk uzunluğuna ve geç hazırlanan set sayısına etkisini analitik olarak incelemiştir.

Son yıllarda set şeklinde teslimat özellikle manüel montaj sistemlerinde endüstrinin büyük ilgisini çekmiş ve pek çok çalışma yapılmıştır (Sol, 2010). Hua ve Johnson (2010), kit halinde teslimat ile sürekli malzeme besleme arasında seçimi etkileyen faktörleri incelemiştir. Faccio (2014), kanban ile sürekli malzeme besleme ve set halinde teslimatı sayısal olarak kıyaslamış ve her ikisinin de bir arada kullanıldığı melez bir sistem önermiştir. Caputo ve diğ. (2016) ise beslenecek parçanın özelliklerine göre hangi malzeme besleme sisteminin daha uygun olduğuna yönelik incelemeler yapmıştır.

Kılıç ve Durmuşoğlu (2012) setlerin optimum biçimde oluşturulması için süreç içi stok ve set için kullanılan toplam işgören sayısını minimize eden bir matematiksel model kurmuştur. Limere ve diğ. (2015), hat yanı stoklama ve set yaklaşımları arasındaki seçime yardımcı olan ve operatör yürüme mesafelerini dikkate alan bir karar destek modeli geliştirmiştir. Hua ve Zhou (2008) ile Karadayı ve diğ. (2017) ise aynı set içerisinde yer alacak parçaların belirlenmesinde kümeleme yöntemini kullanmışlardır. Benzer şekilde, Satoğlu ve Uçan (2015) da setlerin oluşturulması için ürün-parça matrisine ortalama ağırlıklı hiyerarşik kümelendirme tekniğini uygulamıştır. Yakın zamanda, Caputo ve diğ. (2018) set yapma, hat yanı stoklama ve Kanban’la parça besleme yaklaşımlarının parça beslemede seçilmesi için bir maliyet modeli geliştirmiş ve çeşitli senaryoları dikkate alarak farklı koşullarda, parça özelliklerini de dikkate alarak en uygun

yaklaşımın seçimine yönelik model önerisinde bulunmuştur. Boudella ve diğ. (2018), karma modellenli montaj hattına beslenecek parçaların set yapılmasının robot veya işgören tarafından yapılması kararını veren ve set sisteminin çevrim süresinin minimize eden bir matematiksel model geliştirmiştir.

Literatürde set halinde teslimat sistemlerinin gerçek uygulamalarını inceleyen pek çok çalışma mevcuttur. Medbo (2002) paralel akışlı uzun çevrim süreli montaj hatlarında set şeklinde teslimatı ele almış ve operatörün malzeme taşıma ile montaj işlemlerini kolaylaştırdığını ifade etmiştir. Hua ve Johnson (2008) bir elektronik ürün montaj fabrikasında set halinde teslimat sistemi ile sürekli malzeme besleme sistemi arasında seçime etki eden parametreleri uygulamalı olarak incelemişlerdir. Çorakçı (2008), yüksek lisans tezinde yalın üretim sistemlerinde set halinde teslimat uygulamalarını incelemiştir. Firmaların, bu malzeme besleme sistemini, hat kenarındaki alan ihtiyacını ve malzeme taşımalarını azaltmak, kalite problemlerini ortadan kaldırmak, esnekliği ve öğrenme kolaylığını artırmak için uyguladığını vurgulamıştır. Gecü (2008) bir otomotiv fabrikasında set halinde teslimat sistemini uygulayarak; montaj operatörü için parçaya yürüme, parça seçimi ve karar verme süreçlerini ortadan kaldırarak operatörün sadece montaj işlemleri ile ilgilenmesini sağlamıştır.

Hanson ve Brolin (2013) İsveç'teki iki otomotiv firmasında sürekli hat besleme yerine setle beslemenin uygulanması durumunda alan ihtiyacı, stok seviyeleri, işgücü ihtiyacı bakımından ortaya çıkan sonuçları gözlemleyerek açıklamıştır. Boysen ve diğ. (2015) de otomotiv endüstrisinde fabrika içi lojistik konusundaki önemli planlama problemlerin açıklamış ve setlerle teslimatın otomotivdeki uygulamasına değinmiştir. Satoğlu ve Uçan (2015) da otomotiv sanayisinin tedarikçisi olan firmada, üretilen klimaların bileşenleri için kümelenme tekniğiyle set oluşturma ve set taşıma arabalarının tasarımını kapsayan bir uygulama gerçekleştirmiştir. Sali ve diğ. (2015) de karma modellenli otomotiv montaj hatlarında uygulanan sürekli hat besleme, set ve sıralı parça teslimatı yaklaşımlarını, toplam operasyonel maliyet bakımından uygulamadan elde edilen sonuçlara dayanarak kıyaslamıştır.

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, set oluşturma süreçlerinin tasarımı, set halinde teslimat sistemlerinin performans değerlendirilmesi ve bu sistemlerinin diğer hat besleme sistemleri ile kıyaslanmasına ilişkin pek çok çalışma yapılmış olduğu sonucuna varılabilir. Ancak parçaların ve ürün ailelerinin setlere atanması, parça kümelerinin oluşturulması konusunda yeterli çalışmanın olmadığı görülmüştür. Yapılan bu çalışma sayesinde, setlerin oluşturulması için aşamalı ve bütünsel bir yaklaşım önerilerek, literatürdeki bu boşluğun doldurulması sağlanacaktır.

### 3. GELİŞTİRİLEN METODOLOJİ

Geliştirilen metodoloji beş karar noktasına sahiptir (Şekil 1). İlk karar noktası, hat besleme sisteminin seçimidir. Bunun için öncelikle mevcut ürün ve üretim ortamı parametreleri incelenir.

Parça ve ürün çeşitliliğinin az, her bir ürün talep hacminin yüksek olduğu sistemlerde sürekli besleme yöntemi kullanılırken, parça ve ürün çeşitliliğinin çok, her bir ürün talep hacminin az olduğu sistemlerde set şeklinde teslimat sistemi tercih edilebilir. Hua ve Johnson (2010) bu iki uç nokta arasındaki sistemleri gri bölge olarak nitelendirmiş ve bu gri bölgede uygulanacak sistemin ürün ve parça büyüklüğüne, çeşitliliğine ve büyüklüğüne göre farklılık göstereceğini ileri sürmüştür.

Ürün çeşitliliğinin artması, hat kenarında sürekli beslemeyi zorlaştırır. Hat kenarı yarı mamul ile şişeceğinden hat kenarında çalışan işgören parça almak için oldukça fazla dolaşmak zorunda kalacaktır. Hat kenarında katma değeri olmayan faaliyetler artacaktır. Bu nedenle çeşitliliğin artması set şeklindeki beslemeyi özendirilmektedir. Parça büyüklüğü arttıkça, hat dışında bu çeşit parçaların set haline getirilmesi zorlaşacağından, sürekli besleme sistemi tercih edilebilir.

Gri bölgede daha doğru karar verebilmek için, ayrıntılı analiz gerekecektir. Bunun için öncelikle bir ürün ailesi ve söz konusu ailenin montajının yapıldığı alan pilot olarak seçilir. Burada israf kaynaklarını görmek ve daha doğru seçim kararını vermek için mevcut durum değer akış haritası, haritaya ilişkin ayrıntılı süreç parametreleri ve süreçlerdeki parça birikmeleri tespit edilir. Tüm bu verilerin değerlendirilmesi ve uzman görüşü alınarak hat besleme yöntemi seçilir.

Set halinde beslemeye karar verdikten sonra, ikinci karar noktası, setin fabrika içinde mi, yoksa fabrika dışında, tedarikçi veya üçüncü parti lojistik (3PL) firması tarafından mı yapılacağına kararının verilmesidir. Tedarikçi veya 3PL setteki tüm parçaları üretmesi veya tedarik etmesi durumunda, set teslimatı yapılabilir. Bu mümkün ise, seçim, düşük maliyetli olanın seçimine dayanabilir. Setlerin fabrika dışından tedarik edilmesine karar verilirse, satın alınan setler montaj sırası göz önüne alınarak doğrudan hatta teslim edilir.

Setin fabrika içinde kurulmasına karar verilmişse, üçüncü karar noktası, setin fabrika içindeki yerinin belirlenmesidir. Merkezi set hazırlama tipinde depo içerisinde merkezi bir set hazırlama alanı vardır. Bu alanda setler hazırlanarak montaj hattına gönderilir. İçindeki tüm parçaları tüketilen bir set kasası çekme Kanbanı ile beraber örümcek insan tarafından merkezi depoya götürülür ve set tekrardan hazırlanır.

Setlerin merkezi depoda hazırlanması gereksiz parça kasası taşımalarını azaltır. Çünkü merkezi depoda aynı anda farklı set tipleri hazırlanabilir bu nedenle artan parçalar depo rafına kalkmadan farklı setlerde kullanılabilir. Böylece set hazırlama alanı ile depo bütünleşmiş olur. Buna ek olarak, envanter tek bir yerde toplandığından stok yönetimi kolaylaşır

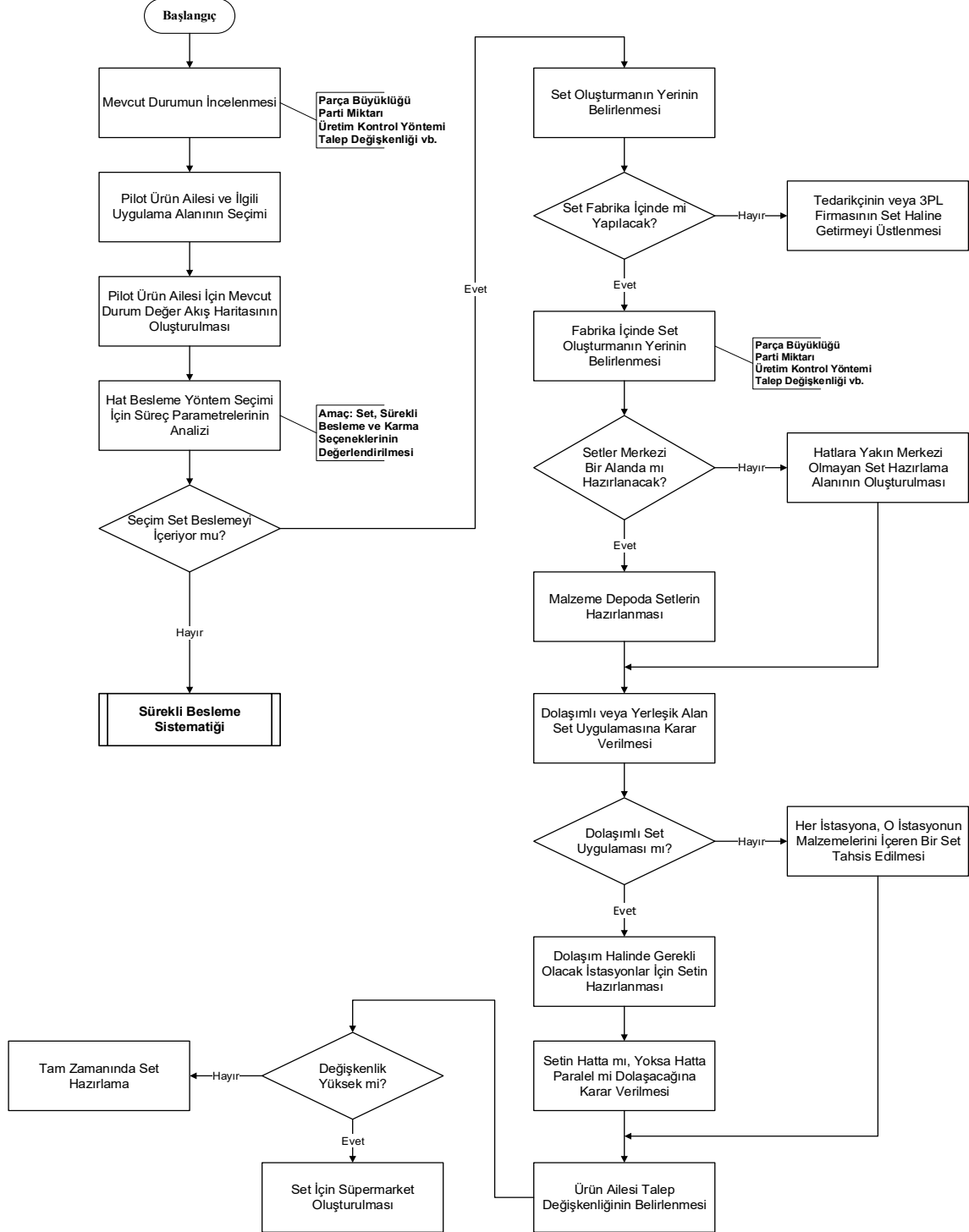
Diğer seçenek ise ana depodan uzakta montaj hattı yakınında set montaj alanları oluşturmaktır. Parçalar ana depodan set alanına getirilir ve setler oluşturulduktan sonra ilgili hat beslenir. Alanın hatta yakın olması montaj hattı ile set hazırlama alanı arasında güçlü bir iletişim sağlar. Ancak her hattın kenarına set montaj alanı kurmak için yeterli alan olmayabilir. Loveland ve diğ. (2007) hat kenarlarında paralel set hazırlama alanları oluşturarak ürün değişimleri arasındaki hazırlık süresini düşürdüğünü öne sürmüşlerdir.

Dördüncü karar noktası, hatta setin sabit bir istasyonu mu, yoksa istasyonlar arasında hareket ederek birden fazla istasyonu mu beslemesi yönteminin seçilmesi üzerinedir. Bunlara sırasıyla yerleşik alan ve dolaşımli set uygulaması denilmektedir (Bozer ve McGinnis,1992). Yerleşik alan beslemesinde, set içindeki parça çeşidi azdır. Ancak her istasyona ayrı ayrı besleme yapılacağından hatta yapılan tur sayısı artmış olacaktır. Dolaşımli set uygulamasında iki yöntem bulunmaktadır. Birinci yöntemde, hattın beslenmesi, hatta paralel olarak dolaşan set tarafından gerçekleşir. Set ilerledikçe içindeki parça sayısı azalır. Diğer yöntem ise, hattı besleyecek parçaların set halinde bant üzerine konulması ve bantla birlikte hareket etmesidir. İkinci yöntem, birinciye göre daha işgörenin hareket israflarını düşürür. Ancak hattaki parça, araba gibi büyük veya boylamasına aydınlatma armatürü gibi uzun ve montajı sırasında döndürülmesi gerekiyorsa, hatta set halinde kasa koymak mümkün olmayabilir.

Beşinci karar noktası, talep değişkenliğinin durumuna göre, tam zamanında veya süpermarketle hattı beslemektir. Hatta değişkenlik yoksa veya talep hacminin değişken miktarı, paralel hat sayısı ile karşılanıyorsa, değişkenliğin olmadığı hat, tam zamanında set hazırlama yöntemi ile beslenir. Setler hat kenarına, doğrudan kullanılmak üzere giderler. Set içindeki parça çeşidinde ve miktarlarında bir oynama olmaz. Buna literatürde “düzgün set karışımı” ismi verilir (Bozer ve McGinnis, 1992). Talep değişkenliğinin bulunduğu bir ortamda ise, setler için süpermarket oluşturmak gereklidir.

Set içindeki parça çeşidi ve miktarı, set boyutunu gösterir. Hat kenarında yeterli alan yoksa veya hat kenarı alandan tasarruf sağlanmak isteniyorsa, set boyutu küçük tutulmalıdır. Eğer malzeme taşımalarını büyük oranda azaltmak isteniyorsa o zaman set boyutu biraz daha büyütebilir. Kaliteyi iyileştirmek için ise, poka-yoke içeren set kasası tasarımına önem verilmektedir.

Aşırı ayrıntıya gitmemek için, metodoloji akış diyagramı içine alınmamış olan ayrıca set olarak sipariş toplama yöntemleri bulunmaktadır. Tekli toplama, seti kapsayan tüm sipariş bir işgören (genellikle örümcek insan) tarafından bir seferde toplanır. Çoklu toplamada, seti besleyecek stok alanları kısımlara ayrılır ve her kısımdaki işgören tarafından setin içeriği malzemeler toplanır. Işıklı sistemlerle de setin içerdiği malzemelerin yeri ışıklandırılır. Böylece depoda arama israfı ortadan kalkar.

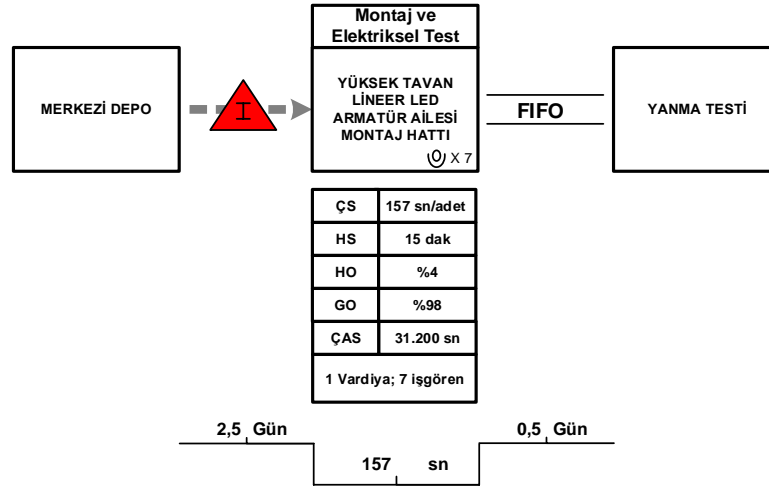


Şekil 1. Set şeklinde besleme iş akışı

#### 4. UYGULAMA

Geliştirilen metodoloji, gerçek bir LED armatür üretim sisteminde uygulanmıştır. Firmada üretim hacmi en yüksek ve iç lojistik açısından en çok sorun yaşanan ürün ailesi olan yüksek tavan doğrusal LED armatür ailesi, pilot ürün ailesi olarak seçilmiştir.

Tüm LED ürün ailesinin mevcut durumu için hazırlanan değer akış haritalarına göre tüm montaj hatları kenarlarında toplam 24 günlük stok bulunduğu saptanmıştır. Montaj hattı içinde de hat dengesizliğinden önemli sayıda parça birikimleri olmaktadır. Bu durumlar, itmeye dayalı hat besleme sistematığının ve parti büyüklüğünün irdelenmesi gereğine işaret etmektedir. Yüksek tavan doğrusal LED armatür ailesinin uygulama çalışması öncesi mevcut durum üretim temin süresi 30,5 gün olup, sürece kablo hazırlama ve cam hazırlama dâhil edildiğinde bu süre, 72 güne çıkmaktadır. Üretim sisteminde gözlemlenen önemli lojistik sorunları düşük görseellik neticesinde parça arama sürelerinin uzunluğu, hâlihazırda bulunan parçanın depoda bulunamaması neticesinde tekrar sipariş edilmesi, aynı parçanın depoda sistematik olmayan bir şekilde farklı yerlerde tutulması olarak ifade edilebilir. Mevcut durum dikkate alındığında, sete uygun iş parçalarının hücre kenarı yarı mamul deposunu önemli oranda kaldırması mümkün olacaktır. Bu şekilde hücre kenarı stok miktarı önemli oranda düşeceği gibi, işgörenlerin parça tedarik etme amacı ile hattan ayrılmaları önlenmiş olacaktır. Yüksek tavan doğrusal LED armatür ailesi için, uygulama öncesi mevcut durum ve gelecek durumda düşünülen kısmi değer akış haritaları, Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Set şeklindeki besleme ve çekme Kanbanı yoluyla hücre kenarı stok miktarı %88 (2,5 günden 0,3 güne düşüş) oranında düşürülebileceği planlanmıştır.



##### Kısaltmalar:

ÇS: Çevrim süresi; HS: Hazırlık süresi; HO: Hata oranı; GO: Güvenirlilik oranı;

ÇAS: Çalışma süresi

#### **Şekil 2.**

##### *İtmeye Dayalı Hat Besleme Kısmi Uygulama Öncesi Mevcut Durum Değer Akış Haritası*

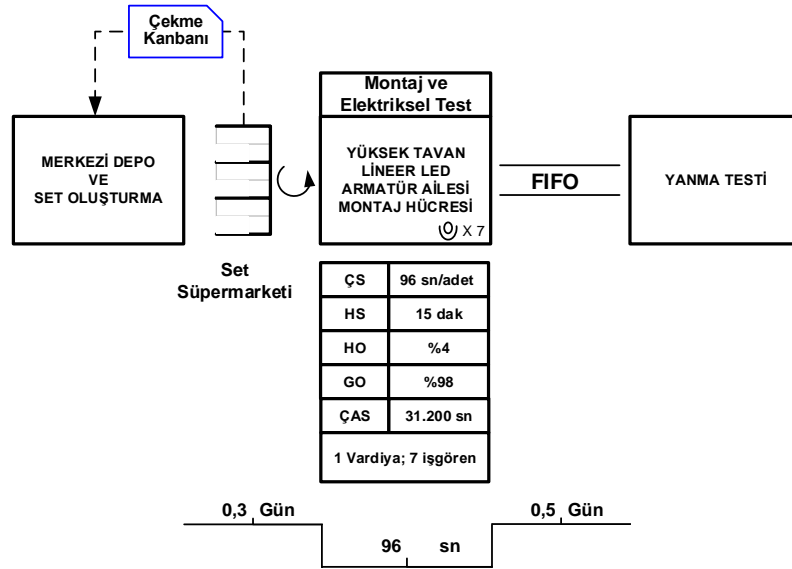
Şekil 2' deki 2,5 günlük stok ise, mevcut durum sayım günü hat kenarında bileşen parçaların, ürün ağacına göre en fazla armatür eşdeğeri olan sayısının, günlük armatür talebi olan 325 adede bölünmesiyle elde edilmektedir.

Yüksek tavan doğrusal LED ürün ailesi set şeklinde besleme sisteminde Bölüm 3'te belirtilen metodolojinin karar noktaları için uygun görülen alternatifler ve gerekli açıklamalar Tablo 1'dedir. İşgücü planlaması açısından, bir örümcek insan, pilot LED ailesi iç lojistiği için tahsis edilecektir. Önerilen sistem kapsamında örümcek insanın görevleri pilot ürün parçalarının depoya kabulü ve raflara yerleştirme, sipariş takibi, hattın dolaşarak boşalan set kutularının

toplanması (frekans: 90 dakika), depoda setlerin oluşturulması ve setlerin hücreye teslimi olarak planlanmıştır. Bir montaj çevriminde tüm istasyonlar için setlerin hazırlama süresi (12 dakika), parti miktarı olarak standartlaştırılan 100 adedin toplam montaj süresinden düşük olduğundan; örümcek insan 2. montaj çevrimi başlamadan set yapabilecektir. Mevcut durumdaki, örümcek insan kullanıldığı için ek işgücüne ihtiyaç duyulmamaktadır.

Gövde, askı aparatı, askı sacı, koli, strafor, balast kapağı ve cam set içerisine alınmayacaktır. Sete girmeyen parçaların hücreden çekme yapısıyla sürekli beslemesi uygulama çalışmaları da başlatılmıştır.

Setlerin tasarımında parçanın kullanıldığı istasyon, parça büyüklüğü, parçaların siparişe bağlı olup olmadığı ve birim yüksek tavan doğrusal LED ailesi armatüründeki kullanım miktarları göz önüne alınmıştır. Geliştirilen set tasarımında norm seti ve sipariş seti olmak üzere iki tip set kullanılmıştır. Sipariş setleri, siparişe bağlı üretilen parçalar için tasarlanmış olup, norm setler ise siparişe bağlı üretilmeyen, tedarikçiden satın alınan parçalar için tasarlanmıştır. Parça büyüklükleri dikkate alındığında parçaların kasada set halinde düzenlenmesi uygun görülmüştür. Set yapma esnasında hata önleme (poka-yoke) amaçlı olarak renk kodlaması yapılmıştır. Setler her bir ürün grubuna ve montaj istasyonuna özel hazırlanmıştır. Şekil 4'te her setin üzerinde bulunan ürün grubu tanımlama kartı gösterilmiştir.



Şekil 3.

Çekmeye dayalı kısmi set şeklinde besleme değer akış haritası

Ürün kodu: MN2\*IL5540-SP/CM ve MN2\*IL5800-SP/CM  
Teslim yeri: Reflektör destek sacı çakma istasyonu  
Parti büyüklüğü: 100 armatürlük  
Tedarikçi: Merkezi depo  
Set sayısı: 1 / 2

Şekil 4.  
Ürün kartı



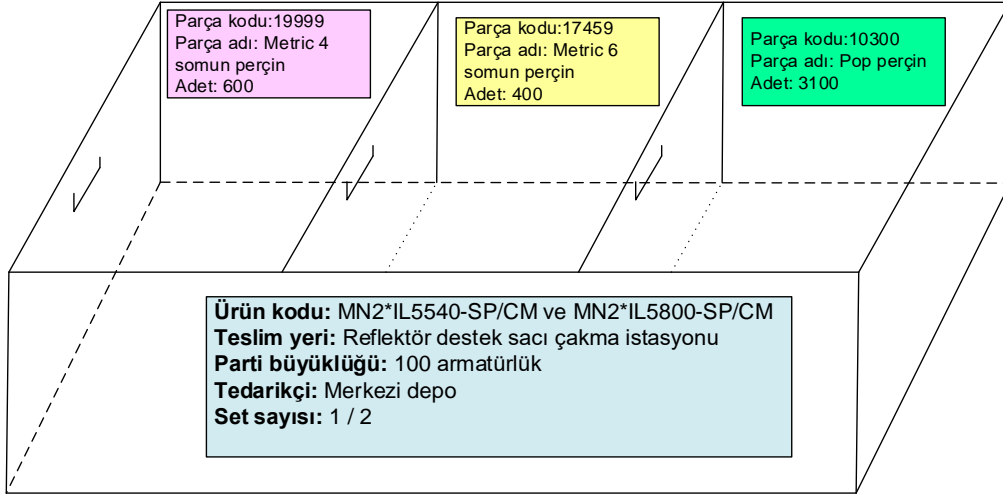
**Tablo 1. Yüksek tavanlı lineer LED ailesi set besleme sistemi**

Metodoloji Karar Noktası	Alternatifler	Seçilen Alternatif	Nedeni
Hücre besleme sisteminin seçimi	*Hücre kenarı besleme *Set şeklinde besleme	Set şeklinde besleme	Ürün (G1, G2, G3, G4 ve diğer olarak beş ürün ailesi – her ürün ailesi için normal, LB, çerçeveli, konfigürasyonlar) ve parça çeşitliliğinin (50 parça) yüksek olması
Set beslemeyi gerçekleştirecek paydaşın belirlenmesi	*Tedarikçi *3PL şirket(ler) *Fabrika içi	Fabrika içi	Parçaların farklı tedarikçilerden alınmakta olması ve tedarikçilerin set yapma yetkinliğinin bulunmaması
Set beslemenin fabrika içindeki yeri	*Merkezi depo *Montaj hücresi kenarı	Merkezi depo	Montaj hücresi kenarında set yapma için yeterli alan olmaması
Set besleme türünün seçimi	*Sabit (istasyon bazlı) *Hareketli (Dolaşımli)	Sabit (Set partisi boyutu=100)	Parçaların küçük boyutlu olması, kullanım miktarlarının az olması
Set için süpermarket ihtiyacı	*Tam zamanında *Süpermarket sistemi	Süpermarket sistemi	Talep değişkenliğinin yüksek olması

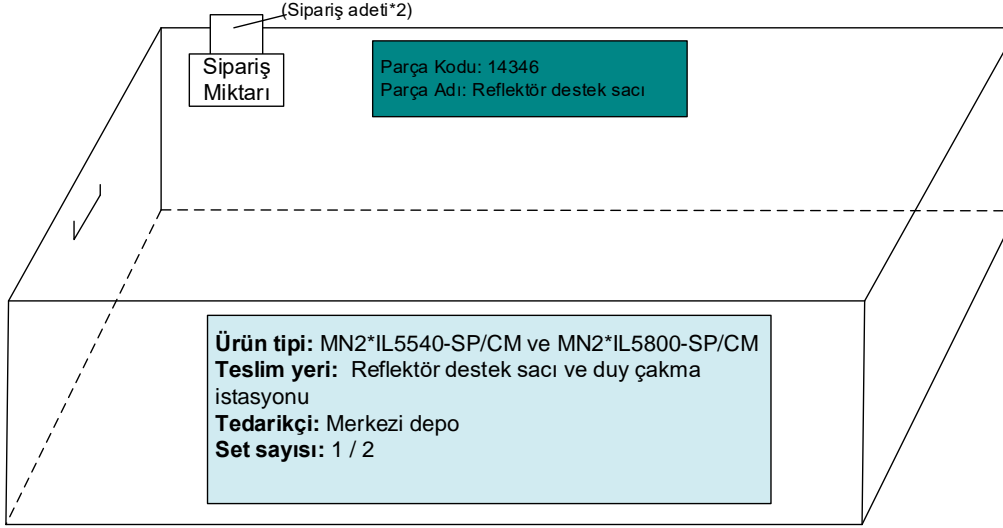
Set içerisinde parça karışma riskini önlemek için set gözleri oluşturulmuştur. Her bölme için o göze konacak parça kartı iliştilmiştir. Topraklama kablosu, vida, balast, cam, cam plastiği, linye giriş contası, perçin, kilit, klemens, civata, kablo kroşesi, yaylı/yaysız duy, gergi kilit, üçgen kılavuz vida, civata, somun gibi parçalar norm setleri içerisinde bulunur (Şekil 5a).

Norm setleri içerisine konacak parça sayıları, ürün ağacı bilgileri ve set parti miktarı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Tablo 1’de de belirtildiği üzere set 100’lük partiler halinde yapıldığından ve günlük talep 300 adet olduğundan örümcek insan tarafından günde 3 sefer set hazırlanması gerekmektedir.

Sipariş setleri (Şekil 5b) askı sacı, kablo takımı, reflektör, duy sacı, balast kapağı, reflektör destek sacı gibi parçaları içerir. Sipariş setlerinin üzerinde de norm setleri gibi ürün kartı bulunur. Sipariş ve norm setlerinde hata önleme amacı ile amacıyla birer adet örnek parça bulundurulur. Setlerin içerisinde bulunacak parçalar ve miktarları belirlendikten sonra kutu tipleri seçilmiştir. Daha sonra, her bir bölmesi tek bir istasyonun setlerini içeren set arabası tasarımı yapılmış olup, set kapları ve parça ağırlıkları uygun olduğundan tek seferde tüm setlerin taşınabileceği ortaya çıkmıştır. Set yapma esnasında örümcek insanın merkezi depo içerisinde gerçekleştireceği süreçlerin akışı Şekil 6’dadır.



(a)

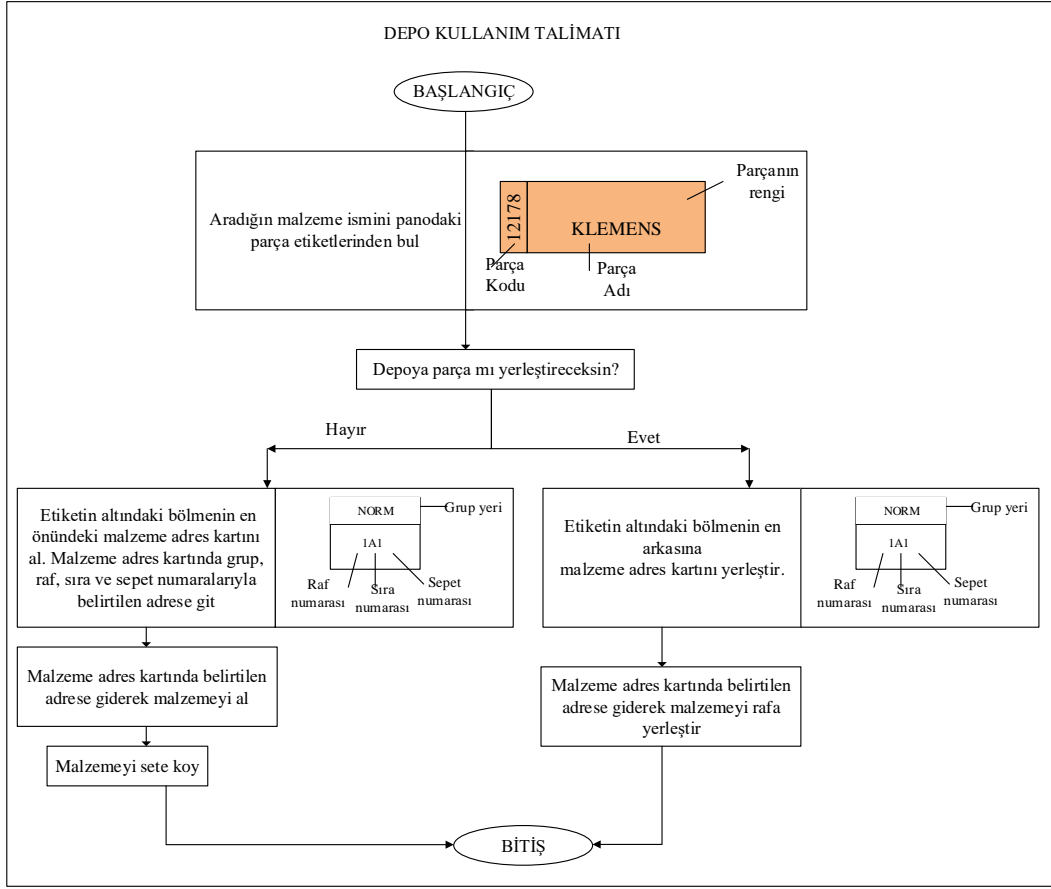


(b)

Şekil 5.

a. Tasarlanan norm seti b. Tasarlanan sipariş seti

Set şeklinde besleme konfigürasyonunun belirlenmesinden önce iş bloklanma ve işgören bekleme sürelerinin azaltılarak montaj hücreindeki israfın düşürülmesi amacı ile 96 saniyelik takt süresine göre Bedworth ve Bailey (1987) tarafından geliştirilen “Bölgesel Yaklaşım” (İngilizce: Regional Approach) yöntemi kullanılarak hat dengeleme yapılmıştır. Şekil 7’de hat dengeleme ve set şeklinde besleme sisteminin sağladığı etki görülmektedir. Şekillerdeki kırmızı yatay çizgi takt süresini temsil etmektedir. Mevcut durumda (Şekil 7a), günlük kapasite 198 adet (çevrim süresi= 157 saniye/adet) olmaktadır. Çevrim süresi, en uzun istasyon süresi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hat dengeleme uygulaması ile işgörenler arası iş yükünü düzgünleştirilmesi sağlanmış ve günlük kapasite 283 adede çıkmıştır (Şekil 7b). Hat dengeleme ve set beslemenin bütünleşik uygulaması neticesinde günlük kapasite 325 adet olup, takt süresine uygun üretim sağlanmıştır (Şekil 7c).

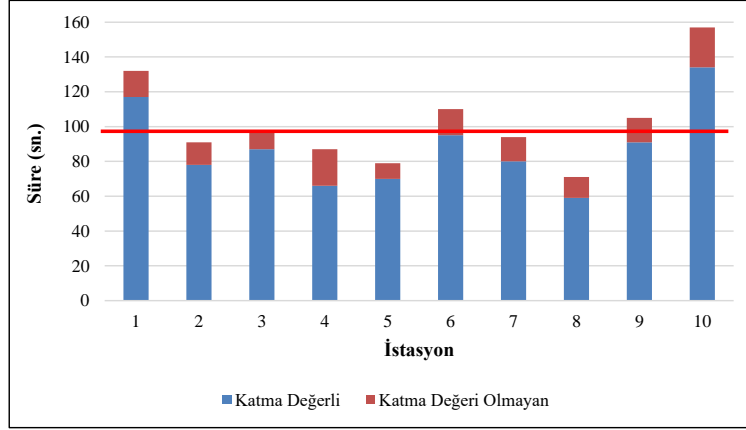


**Şekil 6.**

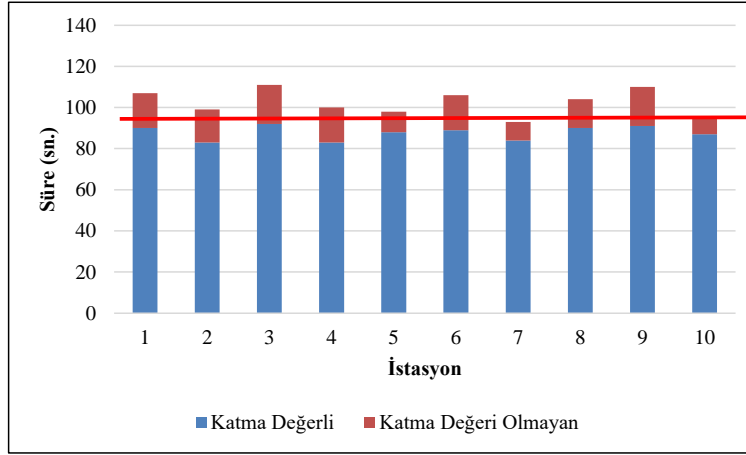
*Depo kullanım sürecine yönelik iş akışı*

Set şeklinde besleme uygulamasına geçilmesi ile üretim ve lojistik operasyonlarının ayrımı gerçekleştirilmiştir. Böylece, işgörenlerin montaj hücrelerinden ayrılmaması ve sadece montaj işlemlerini yapmaları sağlanmıştır. Montaj hücreesindeki envanter israfları yok edildiği gibi örümcek insanın iş tanımları oluşmuştur. Set besleme ve depodan çekme Kanbanı yardımıyla pilot ürün ailesinde hücre kenarı stokun zaman eşdeğeri 0,5 güne kadar düşürülmüştür. Planlanan hedef ise 0,3 gün idi (Bakınız Şekil 3). Aradaki sapmayı azaltmak için çalışmalar devam edecektir. Sapmanın nedeni olarak uygulamadaki standart iş yönergelerinin çalışanlar tarafından tam anlamıyla uygulanmaması olarak gösterilebilir. Kanban olmadan parça, hattın kenarına gelebilmekte ve/veya set yerine kasalarla parçalar taşınabilmektedir.

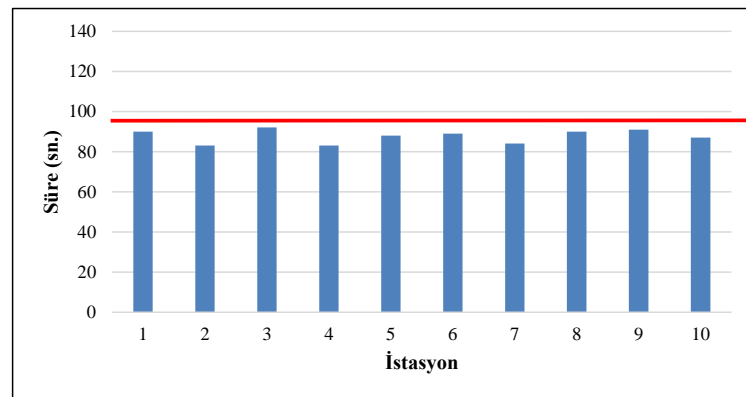
Set uygulaması ve Kanban ile montaj hücreleri kenarlarında malzeme yığılması önlenmiş izlenebilirlik ve görselliğe ulaşılmıştır. Pilot ürün ailesi deposu merkez depodan ayrılarak envanter kontrolünde etkinlik sağlanmıştır. Pilot ürün ailesinde yapılan uygulamanın, diğer ailelere de yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Planlama uygulamaya alınabilirse, mevcut durumda 72 gün olan temin süresi; set şeklinde besleme, hat dengelemeye ek olarak Kaizen ve çekme/tedarikçi Kanbanı uygulamaları ile gelecek durumda 10 güne kadar düşüş (%86 azalma) göstermesi öngörülmektedir. Tablo 2’de set halinde besleme uygulama sonuçları özetlenmiştir. Hat besleme için yürüme (sabit set durumu hariç), doğru parçayı arama ve doğru parçaya karar verme gibi katma değer yaratmayan faaliyetlere ait süreler, Şekil 7 a’da istasyonlar bazında verilen sürelerin toplamıdır.



a.



b.



c.

**Şekil 7.**

*a. Hat dengeleme-yok, set besleme-yok b. Hat dengeleme-var, set besleme-yok c. Hat dengeleme-var, set besleme-var durumlarda istasyonlara yönelik iş yükü diyagramları*

**Tablo 2. Pilot ürün ailesi set şeklinde besleme sonrası kazançlar**

Ölçüt	Uygulama Öncesi Mevcut Durum	Set Yapmalı Çekme Sistemi	İyileşme (%)
Hücre Kenarı Katma Değer Yaratmayan Süre (sn.)	146	İhmal edilebilir düzeyde	100
Hat Kenarı Stok Düzeyi (gün)	2,5	0,5	80
Üretim Sayısı (adet/gün)	198	325	64

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan analiz ve uygulamalar sonucunda, set şeklinde beslemenin de olduğu melez sistemlerin üretim sistemlerimizde önemli performans artışlarını sağladığı görülmektedir. Bu yöndeki literatür de son yıllarda artış göstermektedir. Performans artışı, yarı mamul stoklarının azalmasıyla ortaya çıkan sorunların çözülmesi ortamının yaratılması, temin sürelerinin kısalması ile müşteriye hızlı tepki verilmesi, alan tasarrufu, elleçlemelerin azalması, arama sürelerinin çarpıcı bir şekilde düşüşü ve belki de en önemlisi standartlaştırma çalışmalarında etkinliğin artırılması olarak sayılabilir.

Set şeklinde besleme sisteminin faydalarından yararlanabilmek için set şeklinde besleme sisteminin mevcut üretim sisteminde doğru bir şekilde uygulanması gerekir. Bu nedenle set süreç tasarımında yer alan her bir faaliyet titizlikle ele alınmalı ve mevcut üretim sisteminin koşullarına göre tasarlanmalıdır.

Set şeklinde besleme sistemi doğru şekilde tasarlanmadığında üretim sistemlerini bazı yönlerden zorladığı görülmüştür. Eksik, kusurlu veya yanlış parça içeren hatalı setlerin hatta teslim edilmesi hatta parça eksikliği yaratarak hattın durmasına ve setlerin yeniden hazırlanmasına yol açar, bu da operasyonun verimliliğini düşürür. Bu gibi durumlarda öncelikle eksik ve kusurlu parça oranlarını azaltacak çalışmalar yapılması gerekir. Ayrıca hatalı setlerin oluşmasını önlemek için set şeklinde besleme sisteminin özellikle görsel yönetim yaklaşımı ile desteklenmesi gerekir.

Sonuç olarak set şeklinde besleme sisteminin bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Bu çalışma bütünsel bir yol haritası sunduğundan, uygulamak isteyen üretim sistemlerine kılavuz olabilecek niteliktedir.

Gelecek çalışmalar, metodolojide açıklanan gri bölgenin daha doğru kararlarla yürütülmesi ve iç lojistik sisteminin tasarım ile işletiminin bütünleşik olarak ele alınması yönünde yoğunluk kazanabilir.

## KAYNAKLAR

1. Baudin, M. (2005) *Lean logistics: the nuts and bolts of delivering materials and goods*, CRC Press.
2. Bedworth, D. D., Bailey, J. (1987). Integrated production control systems, analysis, design. John Wiley & Sons, 370–374.
3. Boudella, M. E. A., Sahin, E., Dallery, Y. (2018). Kitting optimisation in Just-in-Time mixed-model assembly lines: assigning parts to pickers in a hybrid robot–operator kitting system, *International Journal of Production Research*, 56(16), 5475-5494. doi:10.1080/00207543.2017.1418988
4. Boysen, N., Emde, S., Hoeck, M., Kauderer, M. (2015) Part logistics in the automotive industry: Decision problems, literature review and research agenda, *European Journal of Operational Research*, 242(1), 107-120. doi:10.1016/j.ejor.2014.09.065

5. Bozer, Y. A., McGinnis, L.F. (1992) Kitting versus line stocking: A conceptual framework and a descriptive model, *International Journal of Production Economics*, 28, 1-19. doi:10.1016/0925-5273(92)90109-K
6. Caputo, A.C., Pelagagge, P.M., Salini, P. (2016) Selection of assembly lines feeding policies based on parts features, *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 185-190. doi:10.1016/j.ifacol.2016.07.593
7. Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., Salini, P. (2018) Selection of assembly lines feeding policies based on parts features and scenario conditions, *International Journal of Production Research*, 56(3), 1208-1232. doi:10.1080/00207543.2017.1407882.
8. Carlson, J.G., Yao, A.C., Girouard, W.F. (1994) The role of master kits in assembly operations, *International Journal of Production Economics*, 35, 253-258. doi:10.1016/0925-5273(94)90089-2
9. Carlson, O., Hensvold, B, (2008) Kitting in a high variation assembly line. A case study at Caterpillar BCP-E, Master Thesis. Lulea University of Technology.
10. Choobineh, F., Mohebbi, E. (2004) Material planning for production kits under uncertainty, *Production Planning and Control*, 13(1), 63-70. doi:10.1080/09537280310001659164
11. Çorakçı, M.A. (2008) An evaluation of kitting systems in lean production. Yüksek Lisans Tezi, University of Boras, School of Engineering, Boras.
12. Faccio, M. (2014) The impact of production mix variations and models varieties on the parts-feeding policy selection in a JIT assembly system, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72, 543-560. doi:10.1007/s00170-014-5675-0
13. Gecü, B. (2008), İç lojistik sistemlerinin yalın üretim bakış açısıyla yeniden tasarlanması ve otomotiv sektöründe örnek bir uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
14. Günther, H.O., Gronalt, M., and Piller, F. (1996) Component kitting in semi-automated printed circuit board assembly, *International Journal of Production Economics*, 43, 213-226. doi:10.1016/0925-5273(96)00044-8
15. Hanson, R., Brolin, A. (2013) A comparison of kitting and continuous supply in in-plant materials supply, *International Journal of Production Research*, 51(4), 979-992. doi:10.1080/00207543.2012.657806.
16. Hua, S.Y., Johnson, D. (2010) Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking, *International Journal of Production Research*, 48(3), 779-800. doi:10.1080/00207540802456802
17. Hua, W., Zhou, C. (2008) Clusters and filling-curve-based storage assignment in a circuit board assembly kitting area, *IIE Transactions*, 40(6), 569-585. doi:10.1080/07408170701503462
18. Karadayı, S., Öksüz, M.K., Durmuşoğlu, M.B. (2017) Design methodology for a hybrid part feeding system in lean-based assembly lines, *Assembly Automation*, 37(1), 84-102. doi:10.1108/AA-09-2016-114
19. Kılıç, H.S., Durmuşoğlu, M.B. (2012) Design of kitting system in lean-based assembly lines, *Assembly Automation*, 32(3), 226-234. doi:10.1108/01445151211244357
20. Limère, V., Van Landeghem, H., Goetschalckx, M. (2015) A decision model for kitting and line stocking with variable operator walking distances, *Assembly Automation*, 35(1), 47-56. doi:10.1108/AA-05-2014-043

21. Loveland, L.J., Monkman, S.K., and Morrice, D.J. (2007) Dell uses a new production-scheduling algorithm to accommodate increased product variety, *Interfaces*, 37(3), 209-219. doi:10.1287/inte.1060.0264
22. Medbo, L. (2003) Assembly work execution and materials kit functionality in parallel flow assembly systems, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 263-281. doi:10.1016/S0169-8141(02)00220-2
23. Ramachandran, S., Delen, D. (2005) Performance analysis of a kitting process in stochastic assembly systems, *Computers & Operations Research*, 32(4), 449-463. doi:10.1016/S0169-8141(02)00220-2
24. Ramakrishnan, R., Krishnamurthy, A., (2008) Analytical approximations for kitting systems with multiple inputs, *Asia-Pacific Journal of Operations Research*, 25(2), 187-216. doi:10.1142/S0217595908001742
25. Sali, M., Şahin, E., Patchong, A. (2015) An empirical assessment of the performances of three line feeding modes used in the automotive sector: line stocking vs. kitting vs. sequencing, *International Journal of Production Research*, 53(5), 1439-1459. doi:10.1080/00207543.2014.944630
26. Satoğlu, Ş. I., Şahin, I. E. (2013) Design of a just-in-time periodic material supply system for the assembly lines and an application in electronics industry, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(1-4), 319-332. doi:10.1007/s00170-012-4171-7
27. Satoğlu, Ş. I., Uçan, K. (2015, Mart). Redesigning the material supply system of the automotive suppliers based on lean principles and an application. In *Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, 2015, International Conference on (1-6). IEEE. doi:10.1109/IEOM.2015.7093860
28. Sellers, C.J., Nof, Y., (1989) Performance analysis of robotic kitting systems, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 6(1),15-24. doi:10.1016/0736-5845(89)90081-1
29. Sol, E. (2010), Set Şeklinde Teslimat İle Hat Kenarı Besleme Sisteminin Karşılaştırılması, Yalın Lojistik Bakış Açısıyla İç Lojistik Faaliyetlerin Tasarlanması Ve Örnek Bir Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

