



Yalın Üretim Uygulamaları Destekli Bütünleşik Bir Üretim Yönetimi Sistemi: Bir Simülasyon Uygulaması

Tekiner KAYA*

ÖZ

Yalın üretim uygulamaları, ürettiği çarpıcı çıktılar ile pek çok sektör tarafından kullanılan güçlü bir kurumsal yaklaşım ve felsefe olarak karşımıza çıkmaktadır. Yalın üretim bileşenlerinin ortaya koyacağı çıktıların simüle edilerek karar vericilerle paylaşılması, uygulamaya geçiş sürecini ve yalın yaklaşımın tüm kurum tarafından benimsenmesini kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede, depo yönetimi, satınalma, üretim ve üretim yönetimi süreçlerini içeren ve tüm kurumu kapsayacak entegre bir yalın üretim uygulaması tasarlanmıştır. Arena simülasyon yazılımı ile tasarlanan sistem simüle edilmiş ve sonuçlar ortaya konmuştur. Simülasyon sonuçları sonrası karar vericiler tarafından uygulamaya geçirilmesine karar verilmiş; yaklaşık 12 aylık bir süre sonrasında elde edilen uygulama sonuçları ile mevcut durum ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Temin süresi ve üretim kalitesi ana başlıkları altında toplanan sonuçlar, temin süresinde %36,3 ve ürün başı hatalı/eksik parça sayısında ise %54'lük bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Simülasyon sonuçları ile uygulama sonrası elde edilen sonuçlar arasında ortaya çıkan yaklaşık %5'lik fark da, etkin ve doğru ölçülmüş girdilerle yapılan simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçların, gerçek sonuçlara ne kadar yaklaşabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yalın üretim, Kesikli olay simülasyonu, Otomotiv, Akış

JEL Sınıflandırması: C15, L62, O14

Integration of a Lean Manufacturing Supported Production Management System: A Simulation Application

ABSTRACT

Lean production practices stand out as a powerful corporate approach and philosophy widely adopted by various industries due to their impressive results. Simulating the outputs of lean production components and sharing them with decision-makers facilitates the transition process and the adoption of the lean approach across the entire organization. In this study, an integrated lean production application encompassing warehouse management, procurement, production, and production management processes was designed for a company operating in the automotive sector. The developed system is simulated and the results were presented via Arena simulation software. After the simulation results, the decision-makers decided to implement the application. Approximately 12 months later, the results of the implementation were compared with the current situation and the simulation results. The results, categorized under lead time and production quality, showed 36.3% reduction in procurement time and a 54% reduction in defective/missing parts per product. The approximately 5% difference between the simulation results and the post-implementation results demonstrates how closely simulation results with effectively and accurately measured inputs can approach real-world outcomes.

Keywords: Lean production, Discrete event simulation, Automotive, Flow

JEL Classification: C15, L62, O14

Geliş Tarihi / Received: 22.08.2024 Kabul Tarihi / Accepted: 04.01.2025

Bu eser Creative Commons Atıf-Gayriticari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



* Doç.Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İİBF, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, tekinerkaya@hotmail.com, ORCID:0000-0001-6136-5028.

1. GİRİŞ

Üretim süreçlerinin etkin ve verimli bir şekilde yürütülmesi, sürdürülebilir kurumsal başarının temel taşlarını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, yalın üretim uygulamaları, israfi azaltarak ve süreçleri optimize ederek kurumlarda önemli gelişmeler sağlamaktadır. Ancak, yalın üretimin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için üretim planlaması ve yönetimi alanında da köklü değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Başka bir ifade ile muda'ların kalıcı olarak yok edilmesi için, öncelikle muri ve mura'ların yok edilmesi gerekmektedir (Muda israf olarak ifade edilirken, Mura dengesizlik; Muri ise aşırı yükleme anlamına gelir). Muri ve mura'ların ortadan kaldırılması için, planlı bir üretim anlayışının kurumda hakim olması önem arz etmektedir. Giderek karmaşıklaşan ve büyük ölçekli tesislerin hakim olduğu üretim ortamında üretim planlama ve kontrol, stratejik ve operasyonel kademeleri birbirine bağlayan önemli bir rol üstlenmektedir (Olhager ve Wikner, 2000).

Mevcut durumda, otomotiv yan sanayide faaliyet gösteren pek çok tesis, siparişleri manuel bir üretim planlama metodu kullanarak yönetmektedir. Bu yaklaşım, siparişlerin doğrudan ve hızlı bir şekilde üretim planlarına eklenmesine olanak tanırken, üretim esnasında pek çok problemin oluşmasına da zemin hazırlamaktadır. Montaj hatlarına zamanında beslenemeyen yarı mamuller/ham maddeler, yüksek ara stoklar, etkin olmayan depo yönetimi ve satın alma gibi pek çok problem, beraberinde verimsizliği, kalite problemlerini, zamanında teslim edilemeyen siparişleri ve yüksek maliyeti getirmektedir. Üretim, yapısal bir planlamadan ve üretim yönetimi de etkin bir süreç yönetiminden yoksun kalmakta; bu durum kurum genelinde sistematik verimsizliklere yol açmaktadır.

Gelişmiş bir üretim yönetim sistemi, üretim sürecinin bütünsel bir şekilde planlanması, takip edilmesi ve optimize edilmesi açısından kritik bir rol oynar. Bu sistemler, sadece üretim planlaması değil, aynı zamanda malzeme ihtiyaç planlama, üretim hat çizelgeleme ve kapasite planlama gibi önemli bileşenleri de kapsar. Yalın üretim uygulamalarının entegre bir üretim yönetim sistemi ile desteklenmesi, üretim sürecindeki akışın daha planlı, takip edilebilir ve verimli bir şekilde yürütülmesini sağlar.

Üretim planlama, her aşamanın ve tüm süreçlerin sıralamasının ve zamanlanmasının titizlikle belirlerken hat çizelgeleme, iş gücünün ve makinelerin etkin bir şekilde kullanılması için kritik rol oynar. Böylece üretim süreçleri, etkin ve verimli bir şekilde yönetilebilir altyapıya kavuşturulmuş olur. Kapasite planlama ise, üretim süreçlerinin talep değişikliklerine uyum sağlama yeteneğini artırarak, kaynakların ve zamanın en verimli şekilde kullanılmasına olanak sağlar.

Planlama, satınalma, depo yönetimi, üretim ve üretim yönetim süreçlerinin etkin ve bütünsel bir şekilde işlemesi, mamul yapısının karmaşık olduğu (çok sayıda ve çeşitte parça) üretim tesislerinde zordur. Simülasyon modelleme tekniği, üretim süreçlerindeki karmaşık ve geniş kapsamlı problemlere uyum sağlama yetisi sebebiyle planlama problemlerinde öngörü sağlaması açısından oldukça uygun bir yaklaşımdır. Tedarik zinciri, müşteri hizmetleri veya yeni ürün geliştirme süreçleri, pek çok alanı kapsamakta ve birden fazla faktör/ değişken içermekte olduğundan, tek boyutlu tekniklerle anlaşılması ve analiz edilmesi karmaşık olabilmektedir (Gebus, Soulas ve Juuso, 2013). Bu nedenle, simülasyon modelleme tekniği, üretim süreçlerinin karmaşık konfigürasyonlarını veya üretim sisteminin kısıtlamalarını da süreçlere dahil edebilen ve sistemin farklı koşullar altında nasıl performans gösterdiğini öngörebilmek için kullanılan önemli bir metodolojidir. (Su ve Kim, 2016).

Genel olarak üretim planlama sürecinde kullanılan üç tür simülasyon modelinden bahsetmek mümkündür: Kesikli olay simülasyonu (DES), Sistem Dinamiği (SD) ve Ajan Tabanlı Simülasyon (ABS). Üretim planlama sürecinde karşılaşılan problemler ise beş uygulama başlığı altında sınıflandırılabilir: Tesis kaynak planlaması, kapasite planlaması, iş planlaması,

süreç planlaması ve üretim hat çizelgeleme (Jeon ve Kim, 2016). DES, yaygın olarak, kapasite planlama veya kaynak planlama/programlama sürecinde, ağırlıklı olarak statik analiz yerine kullanılmaktadır (Andersson ve Olsson, 1998; Gebus vd., 2013). Jeon ve Kim (2016), üretim planlamada, üretim hat çizelgeleme problemlerinin genellikle uzun vadeli ve kısa vadeli süreçler olarak görüldüğünü ve bu süreçlerin etkin kaynak kullanımını amaçladığını belirtmektedir. Yönetim, mühendislik ve operasyonel süreçleri hızla etkileyen koşullar ve değişen dinamikler göz önünde bulundurulduğunda, modern üretim sistemlerinde programlama giderek karmaşıklaşan bir problem haline gelmektedir (VenKateswaran ve Son, 2005). Bu süreçte simülasyon modelleri, en etkin kaynak kullanımı ile müşteri talebini karşılayabilen süreçleri tahmin etmekte son derece güçlü modellerdir.

Bu çalışmada, yalın üretim uygulamaları destekli etkin bir üretim yönetim sistemi entegrasyonu uygulaması gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Geliştirilen üretim planları uygulanmadan önce Arena simülasyon programı kullanılarak simüle edilmiş, simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonrası sistem devreye alınmış ve MES (Üretim yürütme sistemi) ile süreçlerin etkinliği ölçümlenmiştir.

Çalışma giriş bölümünden sonra, ikinci bölümde literatür taraması ile devam etmektedir. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan metodoloji ve veriler yer almaktadır. Simülasyon ve MES sistem aracılığı ile elde edilen bulgular, dördüncü bölümde sunulmuştur. Son bölümde ise sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Üretim Planlama ve Kontrol kavramının gelişimi, üretim verimliliğini artırmak için geliştirilen yöntem ve uygulamalardan önemli ölçüde etkilenmiştir. 20. yüzyılın başlarında yaşanan gelişmeler, modern envanter yönetiminin temellerinin atılması, tam zamanında üretim (JIT) ve yalın üretim yaklaşımının dünyaya yayılması ile beraber, üretim yönetiminde bambaşka bir yaklaşımın gelişmesine sebep oldu.

Üretim planlama ve kontrol süreçleri özelinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, üretim planlama ve üretim kontrol başlıkları altında iki farklı probleme odaklanıldığı görülmektedir. Üretim planlama problemleri ağırlıklı olarak kurumsal kaynak planlama, kapasite planlama, iş planlama, süreç planlama ve üretim çizelgeleme problemleri alt başlıkları altında incelenebilirken üretim kontrol, envanter yönetimi, üretim ve süreç tasarımı, satınalma ve tedarik yönetimi problemleri alt başlıkları altında incelenebilir.

Simülasyon yöntemleri, etkin bir üretim planlama için gerekli olan yalın üretim ilkelerinin sahaya yansımalarını öngörebilme sürecinde kritik bir rol oynar. Bu yöntemler, hat dengeleme, çekme/itme tipi üretim kontrol, kanban, envanter kontrolü ve dengelenmiş üretim gibi temel yalın kavramları değerlendirmek için kullanılabilen yöntemlerdir (Schroer, 2004).

Üretim planlama çalışmalarında kullanılan simülasyon yöntemleri incelendiğinde, bu yöntemlerin üç kategoride sınıflandırılabilceği görülmektedir: kesikli olay simülasyonu, sistem dinamikleri ve ajan-bazlı simülasyon modelleri. Su ve Kim (2016) simülasyon modellemeye dayalı simülasyon tekniklerinin özelliklerini incelemiş ve üretim planlama ve kontrol problemleri için bu üç simülasyon tekniği üzerine bir literatür araştırması yapmışlardır. Çalışma kapsamında, ardıl işlemler sonucu ortaya çıkan bir mamulün tüm işlem adımlarının planlanması, diğer sistemlerle entegrasyonu ve optimizasyonu söz konusu olduğu için, literatür araştırması kısmında kesikli olay simülasyonu yöntemine ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Kesikli olay simülasyonu, üretim operasyonlarını modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, süreçleri bir dizi ardışık olay olarak tanımlayarak sistem dinamiklerini anlamaya yardımcı olur. Bu çerçevede Neeraj vd. (2018), iş gücü verimliliğini artırmak, optimal

retkenliği sağlamak ve kaynakları daha etkin iyi kullanmak amacıyla Arena yazılımını kullanarak bir üretim sürecini simüle etmişlerdir. Johnny ve Thenarasu (2019), birden fazla istasyonda otomasyona geçişi sürecini simüle ederek bekleme sürelerini minimize etmeyi ve çalışan sayısını azaltmayı test etmiştir. Mazumder vd. (2020) ise, hat dengeleme yaklaşımı kullanarak bir montaj hattının takt zamanını dşrmştir.

Yalın retim bileşenlerinin üretim süreçlerinde kullanılması ve adaptasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışma bulgularının pek çoğunda çarpıcı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Harish vd. (2024) kesikli olay simülasyonu yöntemi kullanarak gerçekleştirdiği çalışmasında, yalın bileşenlerin uygulanması sonucu proses ii stoklarda ve çevrim zamanında önemli düşüşler elde etmiştir.

Tokola ve Vist (2015) yalın üretim yöntemlerini ve simülasyonun bu yöntemlerin etkinliğini ortaya koymadaki rolünü incelemiştir. Yalın yöntemlerle birlikte simülasyonu araştıran çalışmaların gözden geçirildiği çalışmada, yalın bileşenler ve bu bileşenlerin uygulanması durumunda elde edilecek çıktılar simülasyon sonuçları bazında derlenmiştir. Kotowska ve Burduk (2017) makineler için gerekli olan yarı mamul, parça ve sarf malzemelerinin sipariş edilmesini iyileştirmek amacıyla yalın üretim araçları ve simülasyon modelleri kullanan bir konsept ortaya koymuştur. Yuan vd. (2020), kesikli olay simülasyon yöntemi ile, üretim temin süresini düşürmek ve israfları minimize etmek amacıyla bir yalın planlama ve optimizasyon sistemi geliştirmiştir. Shou vd. (2021) yalın üretim araştırmalarında kullanılan simülasyon tekniklerine ilişkin eleştirel bir inceleme yapmıştır. Son 20 yılda 311 çalışmanın incelendiği araştırmada, simülasyon destekli olarak yapılan yalın üretim araştırmaları değerlendirilmiştir. Bu süreçte kullanılan simülasyon modellemelerinde yaşanan değişim de ortaya konmuştur. Aksar vd. (2021) Türkiye’de otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren bir üretim hattını analiz etmiş ve iyileştirmek için bir değer akış haritalama çalışması yrtmştir. Çalışma bulguları, Arena yazılımı ile simüle edilmiştir. Çalışmanın ana motivasyonu, yalın üretim teknikleri ve teknoloji adaptasyonu ile, entegre bir üretim yönetim sisteminin üretim süreçlerinde ortaya koyacağı iyileştirmeleri somut olarak ortaya koymaktır.

Uriarte vd. (2020) yalın üretim ile simülasyon yöntemlerinin entegre bir şekilde kullanılmasının, sistem tasarımı ve iyileştirme süreçlerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma bulguları, teknik zorlukların, mevcut simülasyon yazılımlarının yalın araçlar ve prensipleri ile daha entegre bir şekilde çalışabilme ihtiyaını ortaya koymakla birlikte, yalın uygulayıcılar için daha kullanıcı dostu simülasyon platformlarına ihtiyaç duyulduğunu da ortaya koymaktadır.

Mohamad vd. (2016) simülasyon tabanlı yaklaşımların, yalın üretim bileşenlerinin uygulanabilirliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Tanasic vd. (2022) ise küçük ve orta ölçekli işletmelerde yalın üretim bileşenlerinin sahada etkin bir şekilde uygulanabilmesi için bir simülasyon modeli sunmuşlardır. Çalışmada, bu uygulamaların üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve ürün sürdürülebilirliğinin gelişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgularda, yalın üretim araçlarının kullanımı ile birlikte elde edilecek kazanımlar simüle edilmiş; simülasyon sonuçlarına göre proses ii stok miktarının %54 azaltılabileceği ortaya konmuştur.

3. YÖNTEM

Çalışma kapsamında, otomotiv sanayinde faaliyet gösteren bir tesiste, yalın üretim uygulamaları ve yeni tasarlanan üretim planlama ve üretim yönetimi uygulamalarının, uygulama öncesi simüle edilmesi; simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi ve sonrasında planlanan süreçlerin etkinliğinin MES sistemi ile lmlenmesi yapılmıştır. Tüm bu süreçte 3 ana metot kullanılmıştır.

- a) ERP sistem entegrasyonu: Netsis ERP paketi kullanılarak, tüm siparişler entegre bir ERP sistemi tarafından işlenerek üretim planları çıkarılmakta, sipariş yönetimi optimize edilmektedir. Ayrıca satınalma, depo, sipariş yönetimi ve üretim planlama ve yönetiminin bütünsel hale getirilmesi öngörülmektedir.
 - b) Simülasyon: Arena 13.5 simülasyon yazılımı ile, Netsis ERP üretim modülünden elde edilen planların uygulama öncesi etkinliğini ortaya koyabilmek amacı ile tasarlanan süreç simüle edilmiş ve beklenen çıktılar ortaya konmuştur.
 - c) MES: Netsis ERP'ye geçiş ile birlikte, planlanan süreçlerin ne derece etkin gerçekleştirildiğine yönelik anlık bir takip, ölçüm ve kontrol sistemi yapılandırılmıştır.
- Yukarıdaki üç yöntemin aşamalı olarak sahada uygulanması süreci, bu bölümde uygulama başlığı altında anlatılmıştır.

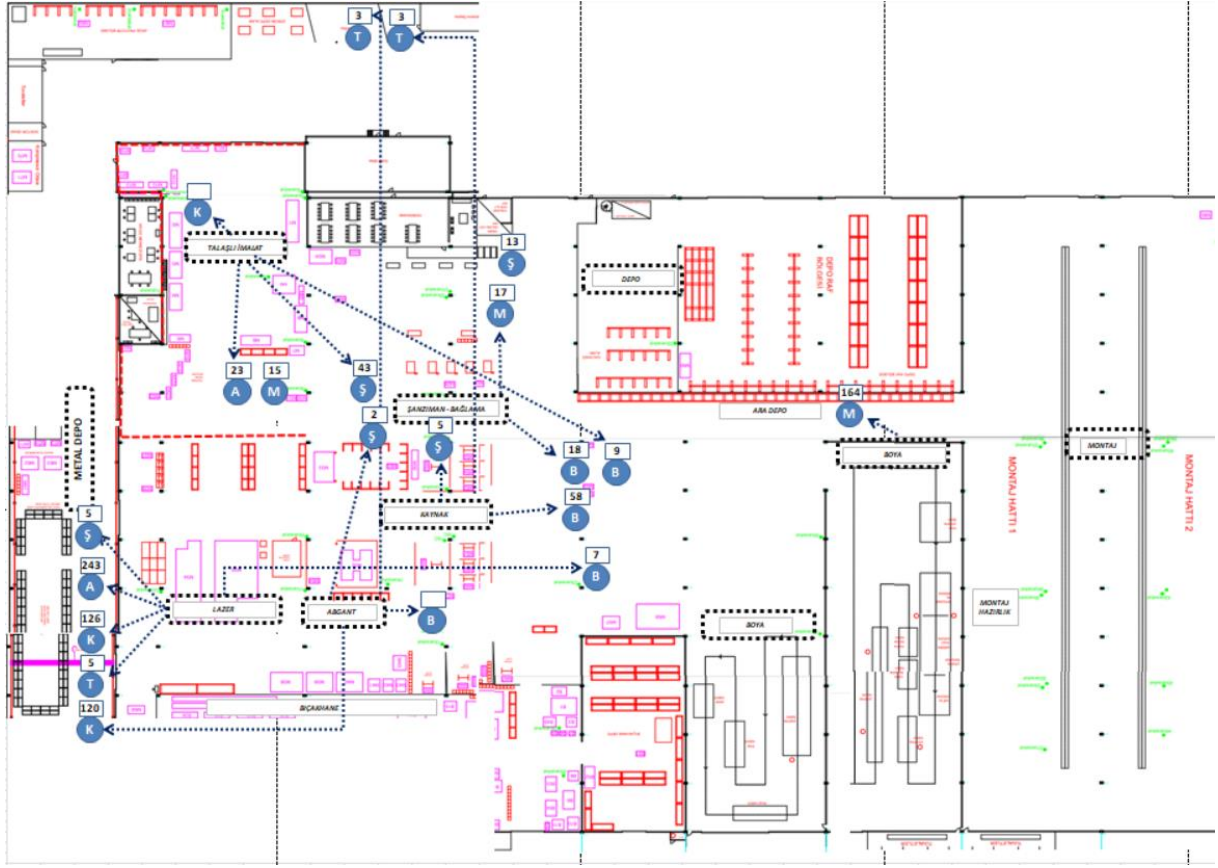
3.1 Uygulama

3.1.1 Mevcut Durum

Çalışmanın yürütüldüğü tesis, 173 çalışana sahip, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir yan sanayidir. Makine parkında 360 makine yer almakta olup, 37 farklı ana ürün grubu üretmektedir. Kurumda toplam 8175 farklı hammadde/yarı mamul bulunmakta olup, bir ürün grubu ortalama 950 parçadan oluşmaktadır.

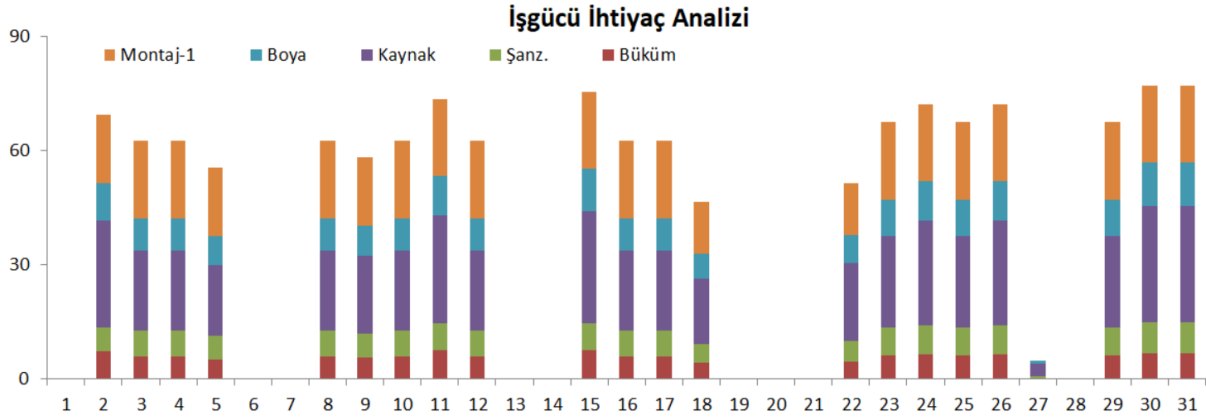
Mevcut durumda müşterilerden gelen siparişler, kaba üretim planlama metodu ile excel üzerinden planlanmaktadır. Her gelen sipariş, doğrudan üretim planına eklenmektedir. Üretim planı sadece son montaj hattı için yapılmakta olduğundan, diğer prosesler yapısal bir üretim planından yoksun faaliyetlerini yürütmektedirler.

Tesiste mevcut üretim sistemini ve akışı ortaya koyabilmek adına, kurumun tesisin üretmiş olduğu en karmaşık model olan T150 modeli için, her bir fabrikadan diğer fabrikalara olan yarı mamul çeşidi sayısı ve akışı analiz edilmiştir. Analiz sonucu ortaya çıkan akış şekil 1'de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre en fazla çeşitte transfer, talaşlı imalattan ve lazer biriminden diğer birimlere yapılmaktadır.



Şekil 1: B160 Ürünü Oluşturan Yarı Mamul Hareketleri (Her bir harf, yarı mamulün, bir sonraki gideceği istasyonu ifade eder. Harfler üzerindeki rakamlar ise, hareket eden yarı mamul sayısını gösterir: A: Büküm, B: Boya, K: Kumlama, M: Montaj, Ş: Şanzıman, T: Talaşlı imalat)

Mevcut durumda, sadece montaj hattı üretim planlaması yapılmaktadır. Kendisinden önceki tüm atölyelerin de, montaj hattı planına uygun olarak üretim yapması beklenmektedir. Diğer yandan tek parça akışı ya da seri bir üretim sistemi yapılandırılmadığından, diğer atölyeler (talaşlı imalat, büküm, lazer, şanzıman, boya) bir çekme planı çerçevesinde değil, “önlere geleni üretme” mantığı ile hareket etmektedir. Bir akış yapılandırılmadığı için de, bu noktada meydana gelen herhangi bir aksama, ancak montaj hattına ilgili ürün için malzeme ihtiyaç duyulduğunda görülmektedir. Bu anda çoğu zaman acele ile ilgili yarı mamulün arayışına girilmekte; herhangi bir gecikme, eksik yarı mamul olması durumunda ilgili parçanın hızla bulunması veya üretime alınarak montaj hattının acilen beslenmesi talep edilmektedir. Bu, tüm üretim planını da aksatmaktadır. Bu aksama, üretime girecek olan bir sonraki partinin temin süresini de doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle işletme, her bir ürün grubu değişiminde yarım günlük (kimi zaman 1 tam gün) ara verme gereği duymaktadır. Bu süre zarfında, montaj hattına girecek tüm parçaların temin edilmesi beklenmektedir.



Şekil 2: İşgücü İhtiyaç analizi

Şekil 2, son atölye olan montaj hattı üretim planına bağlı olarak diğer birimlerde ihtiyaç duyulan işgücü miktarını göstermektedir. Dikkat edilecek olursa, diğer atölyelerin planlı bir üretim yapmaması nedeniyle, işgücü ihtiyacı günlük bazda önemli oranda ($\pm$ %25,6) dalgalanmaktadır. Bu durum, yalın üretim ilkelerinden olan dengelenmiş üretim ilkesine ile Mura kavramına aykırılık teşkil eder ve pek çok mudaya da zemin hazırlar. O nedenle muri ve murlar yok edilmeden, mudanın kalıcı çözümü mümkün değildir.

3.1.2 Problem Tanımı

Kurumda planlı, takip edilebilir ve bütünsel bir akış yaratmak adına, entegre bir üretim yönetim sistemi geliştirme projesinin yapılmasına karar verilmiştir. Bu projenin çözüm üretmesi gereken problemleri aşağıda özetlenmiştir.

- Herhangi bir üretim planlama ufku belirlenmemiştir. Dolayısı ile her an üretim planı değiştirilebilmektedir.
- Üretim planı, sadece son proses olan montaj fabrikası için yapılmaktadır. Montaj öncesinde yer alan 7 ana proses için herhangi bir plan yapılmamakta olup, bu fabrikalar, üretim planlama uzmanının ve diğer fabrika yöneticilerinin öngörülerini doğrultusunda üretime başlamaktadırlar.
- İlk ve ne önemli proseslerden olan talaşlı imalat fabrikası, ana üretim planında yazan sipariş büyüklüklerinden ziyade, setup sürelerini azaltmak için daha büyük lot büyüklükleri ile çalışarak, ürettiği partiyi iterek diğer proseslere aktarmaktadır.
- Talaşlı imalat fabrikasının üreterek diğer proseslere doğru ittiği lot büyüklüğü, diğer fabrikalar tarafından sorgulanmaksızın aynen işleme alınmakta ve montaj fabrikasına doğru itilmektedir.
- Tüm fabrikalardan eşzamanlı olarak gelmesi gereken yarı mamuller, montaj hattında istenilen zamanda, miktarda bulunamamakta; bu nedenle hat sık sık durmaktadır. Tesis, planlı üretimden yoksundur.
- Etkin bir stok yönetimi yapılamadığından, depolardan montaj hattına sevkiyatlarda sorun yaşanmakta; bu da üretimde malzeme eksikliği sebebi ile duruşlara sebep olmaktadır.
- Üretim süreci içerisinde tesis dışında işlem görmesi gereken yarı mamuller (kaynak, bazı büküm işlemleri, galvaniz vb) takip edilmemektedir. Kurumda herhangi bir t anında tesis dışında ne kadar yarı mamul var, ne kadarı geldi, ne kadarı ne zaman gelmeli sorularının cevabı yoktur.
- Yarı mamullerin fabrika içi ve fabrikalar arası transferinden, mamulü ilgili proseste üreten operatörler sorumludur. Bu durumda operatör, üretim sonunda, forklift veya taşıyıcı ekipman aramak, palet aramak, bulmak, getirmek ve ilgili partiyi bir sonraki

istasyona götürmekle sorumludur. Bu durum, malzeme kayıplarına, yanlış iş istasyonuna transferlere, operatörün gün içinde vakit kaybına, taşıma ekipmanı bulunamaması veya beklenmesi sebebi ile temin süresinde uzamalara sebep olmaktadır.

Yukarıda görüldüğü üzere çok sayıda farklı çözüm önerileri ve karşönlem alınmasını gerektiren farklı problemler görülmektedir. Bölüm 3.1.4'te bu problemlere ilişkin alınması planlanan/alınan önlemler görülmektedir.

3.1.3 Uygulama Verileri

Tablo 1'de T150 modeli üretimi için (üretilen 37 modelden birisi) gerekli işlem, setup ve transfer süreleri görülmektedir. 8 ayrı fabrikada işlem görerek nihai ürüne dönuşen T150 modeli, toplam 95 saat 16 dakikalık bir işlem ve hazırlık süresine ihtiyaç duymaktadır.

Tablo 1: T150 Modeli İşlem, Setup ve Transfer Süreleri

Bölüm	İşlem Süresi (dk/adet)	İşlem Süresi Std.Sapma (dk/adet)	Setup Süresi (dk/Parti)	Transfer Süresi (dk/parti)
Talaşlı İmalat	39 saat 47 dk	120 dk	2 saat 59 dk	24 dk
Büküm	4 saat 15 DK	24 dk	5 dk	19 dk
Kaynak	18 saat 44 dk	74 dk	12 dk	7 dk
Lazer Kesim	5 saat 25 dk	12 dk	7 dk	18 dk
Boya	1 saat 52 dk	4 dk	2 dk	7 dk
Montaj	8 saat	85 dk	-	-
Montaj Hazırlık	9 saat 8 dk	35 dk	-	-
Şanzıman	4 saat 33 dk	20 dk	-	-

NOT: Setup süresi, 50 adetlik parti için hesaplanmış ve tek bir ürün için gerekli setup süresine indirgenerek tabloda gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında 5 ürün grubu incelenmiştir. Bu ürün gruplarına ait bazı temel veriler tablo 33'de görülmektedir. Ürün grupları çok sayıda operasyon gerektirdiği için (ortalama 485 işlem) her bir işleme ait dağılımlar yerine, her bir ürün grubundaki işlemlere ilişkin veri setlerinde gözlemlenen dağılım türleri yine tablo 2'de verilmiştir. Tabloda sipariş büyüklüğü, ilgili ürün grubunun toplam üretim zamanı, işlem gördüğü istasyon sayısı, işlem sayısı da görülmektedir.

Tablo 2: Ürün Gruplarına İlişkin İstatistiksel Veriler

Ürün Adı	Sipariş Büyüklüğü (adet)	Toplam Üretim Zamanı (dk)	Hareket Gören İstasyon Sayısı	Operasyon (İşlem) Sayısı	Dağılım
B160	44	1060	11	556	Lognormal, Üstel, Triangular, Beta
S200	48	1080	10	420	Weibull, Lognormal, Üstel, Triangular, Beta
S150	40	1120	9	395	Lognormal, Üstel, Triangular,
TT60	99	1094	11	520	Lognormal, Weibull, Triangular, Beta
T150	47	1150	11	532	Lognormal, Üstel, Triangular, Beta

Tablo 2’dekine benzer şekilde diğer 36 çeşit ürün için gerekli ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde 50 adetlik lot büyüklükleri olduğu varsayılmıştır.

İdeal parti büyüklüğünün belirlenmesi sürecinde 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar, mevcut durumdaki parti ve sipariş büyüklüğü olan 100 adete göre toplam temin sürelerindeki artış/azalışı ortaya koymaktadır. Setup sürelerinin talaşlı imalat fabrikasında yüksek olması dolayısı ile sadece bu fabrika referans alınarak bir çalışma yapılmıştır. Parti büyüklüklerinin, setup süreleri azaltılmadan düşürülmesi, toplam temin sürelerinde önemli bir artışa sebep olacağından, şu aşamada en ideal parti büyüklüğünün tespitine yönelinmiştir. Bu çerçevede ilk etapta, üretim planlamada kullanılacak olan parti büyüklüğünün 50 olması kararlaştırılmıştır. Yapılan analizlerde çıkan sonuçlar, tablo 3’te ortaya konmuştur.

Tablo 3: Optimum Parti Büyüklüğünün Belirlenmesi İçin Yaratılan Senaryolar ve Sonuçları

Senaryolar	Varsayımlar	Parti Büyüklüğü	Toplam Setup Süresi Artış Oranı (%) (100 adetlik partiye göre)	Toplam Temin Süresi Artış Oranı (%) (100 adetlik partiye göre)
Senaryo 1	* Setup süresi > 2 saat --> Parti büyüklüğü 70 * Setup süresi < 2 saat < 30 dk --> Parti büyüklüğü 48 * Setup süresi < 30 dk --> Parti büyüklüğü 24	Değişken	+ 170%	+%6
Senaryo 2	-	50	+%100	+%3,5
Senaryo 3	-	25	+%300	+%10,6
Senaryo 4	* Setup süresi > 1 saat --> Parti büyüklüğü 50 * Setup süresi < 1 saat --> Parti büyüklüğü 25	Değişken	+%263	+%9,3

3.1.4 Karşıönlemler

Ürün çok çeşitte ve sayıda parça içerdiğinden ve yapı itibarı ile karmaşık sayılacak bir ürün olduğundan, kurum etkin bir kurumsal kaynak planlama sistemine (ERP) ihtiyaç duymaktadır. Bu sistemin işler hale getirilebilmesi için entegre bir;

- Depo yönetim,
- Sipariş yönetim
- Üretim yönetim
- Üretim planlama sisteminin kurulması gerekmektedir.

Bu çerçevede, kurumda yukarıda belirtilen tüm alt sistemleri entegre bir şekilde yönetebilecek Netsis ERP sistemine geçilmesine karar verilmiştir.

- a) Depo yönetimi: Depo yönetimi, excel üzerinden tutulan kayıtlar üzerinden takip edilmekte; bu nedenle bazı yarı mamullerde çok sayıda stok bulunurken, bazılarında ise ihtiyacı karşılayacak sayıda yarı mamul bulunmamaktadır. Bu nedenle üretimde aksamalar yaşanmaktadır.

Gelen siparişe bağlı olarak eldeki stok miktarı net bir şekilde kontrol edilemediğinden, üretimde ve teslimatta gecikmeler yaşanmaktadır. Acil parça tedarigi için yoğun efor sarf edilmektedir.

Tüm bu sorunları aşmak için, Netsis depo yönetim modülü kullanımına geçilmiştir. 6 farklı depo belirlenerek (üretim, merkez, yedek parça, dış kaynak, metal, sevkiyat) her bir depodan üretime aktarılan tüm malzemeler anlık olarak sistemden düşülmektedir.

Depo yönetim sistemi, üretim planlama ile entegre edilmiştir. Her bir stok kodu için minimum ve maksimum stok seviyeleri belirlenmiş olup, üretim planı çalıştırıldığında, stokta bulunmayan veya planlanan üretim tarihinde ilgili istasyonda olması mümkün olmayan (temin süresinin uzunluğu dolayısı ile) yarı mamuller için sistem uyarı vermektedir. Depolar arası transferler, depolar arası transfer formu ile transfer edilmeye başlanmıştır.

- b) Sipariş yönetimi: Gelen yeni bir sipariş, üretim planlama mühendisi tarafından Netsis'te siparişin teslim tarihi girilmek sureti ile mevcut üretim planına eklenmektedir. Şayet müşteri tarafından arzu edilen teslim tarihinde siparişler yetiştirilemeyecek ise, Netsis uyarı vermekte, üretim planlama uzmanı da bu çerçevede teslim tarihini revize ederek satış bölümüne en erken teslim tarihine ilişkin bilgi vermektedir.
- c) Üretim Planlama: Üretim planlamadaki sorunları çözmek adına, 6 kişilik bir ekip kurulmuştur. Bu ekipler;
 - Üretim yönetimi (MES)
 - Üretim planlama
 - Zaman Etüdü
 - ERP entegrasyon
 - Üretim geliştirme

üzerinde planlı bir şekilde çalışmak için görevlendirilmişlerdir. Öncelikle yaklaşık 6 ay süren zaman etütleri yapılmıştır. Her bir ürün çeşidi için her bir işlem, setup ve transfer süreleri ve standart sapmaları ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

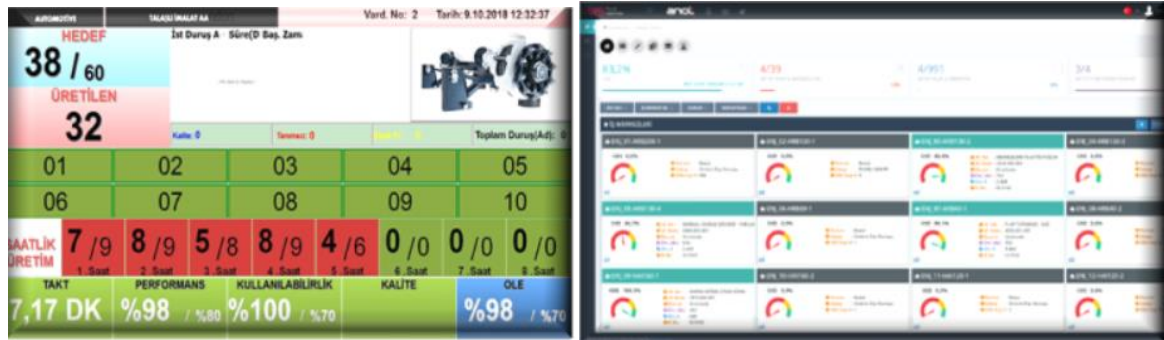
Üretim planlamada, Netsis'in MRP II (Üretim kaynak planlama) modülü kullanılmıştır. İşlem zamanları, transfer istasyonları, transfer süreleri hazırlık süreleri ve parti büyüklükleri sisteme girilmiştir. Stok kodları, depo stok kodları ile eşleştirilmiş, farklı stok koduna sahip farklı ürünlerdeki aynı ürünler tek stok koduna indirgenmiştir.

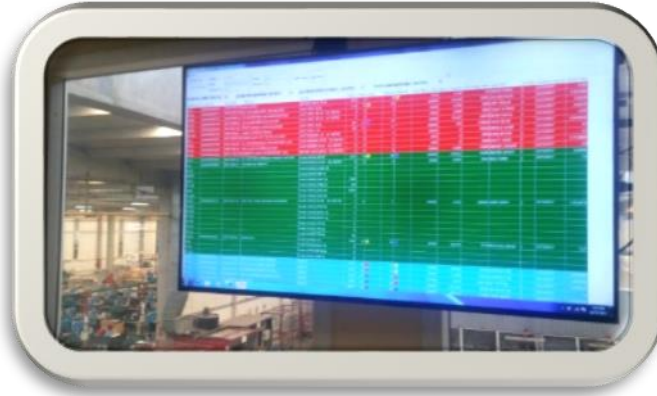
Üretim planlamanın sahaya yansıtılması için ise, MES sistemi entegrasyonuna gidilmiştir. Şekil 3'te, kurgulanan MES sistemi görülmektedir. Netsis'te gelen siparişlerin üretim planına aktarılması ve yönetimin onayı sonrası, her bir fabrikada belirlenen iş istasyonlarına (tesiste toplam 11 adet iş istasyonu belirlenmiş olup, her bir iş istasyonuna sorumlu bir takım lideri atanmıştır) o fabrika ve iş istasyonuna ilişkin Netsis'in yaratmış olduğu iş emirleri otomatik olarak gönderilmektedir. Takım lideri sabah ekranını açtığında, o gün kendisinden beklenen işi, adedini, bu işi bitirdikten sonra ilgili partinin hangi iş istasyonuna gitmesi gerektiğini görür. Ve işi önünde bulunan kioskta/tabletten başlatır. İlgili partiyi bitirdikten sonra ise bitirir.



Şekil 3: Tasarlanan MES Sistemi Akışı

Merkezi ERP sisteminde ise, o gün başlaması gereken tüm iş emirleri görülebilmekte, başlaması gereken fakat henüz başlamayan işler anlık olarak takip edilebilmektedir. Böylece, oluşabilecek herhangi bir gecikme, anında görülmekte ve montaj fabrikasına varmadan önlem almak (fazla mesai veya dış kaynak kullanımı yolu ile) mümkün olmaktadır. Şekil 4'te ilgili yönetim modülünün bir örneği görülmektedir. Bu modülde, her bir iş istasyonunun anlık performansı (hat duruş, tamamlanan/tamamlanması gereken iş emri oranı, kalite hataları, verimlilik, parti bazında anlık üretim miktarı) görülebilmektedir.





Şekil 4: MES Yönetim ve Raporlama Panelleri

Ayrıca tüm hatların performansı, üretim sahasına yerleştirilen andon panoları ile tüm çalışanlar ile de paylaşılmaktadır. Üretim geliştirme sürecinde ise, çeşitli kaizenler yapılarak, akışın güvence altına alınması sağlanmıştır. MES ve ERP sistemleri ile planlı üretime başlayan tesis, montaj hattının konveyörlü sisteme geçişi ile birlikte kendisinden önceki tüm sistemleri de hizalayan bir akışa kavuşmuştur.

Depodan montaj hattını üretim planından bağımsız olarak, montaj fabrikasında çalışan operatörlerin taleplerine bağlı olarak besleyen merkez depo ise, üretim planına bağlı olarak şekil 5’de görülen set sevkiyat arabaları ile montaj hattına girecek ürünün ihtiyaç duyduğu yarı mamullerden tek bir araç için ihtiyaç duyduğu miktarda mamulleri hazırlamakta ve bu arabaları montaj istasyonuna iletmektedir. Bu set sevkiyat arabaları, ürüne bağlanarak, akan konveyörde ürün ile birlikte hareket etmektedir. Böylece operatör parça aramaya gitmemekte, yürüme mesafesi kısalmış (daha önce bu parçalar, montaj istasyonu kenarında bulunan alanlara kutular içerisinde bırakılmakta, operatör oradan bulup, takmakta idi), ortaya çıkacak muhtemel hatalı parça montaj sorunları önlenmiştir. Ayrıca operatörün hem üretim hem de lojistik operatörü olarak çalışmasının önüne geçilmiş, parça arama, alma/getirme gibi işlemler depo sorumluluğuna verilmiş, operatörün sadece işine odaklanması sağlanmıştır. Böylece toplam temin süresi düşürülmüştür.



Şekil 5: Set Sevkiyat Arabaları ve Montaj Hattı Entegrasyonu

Tüm bu süreçte, yalın üretim bileşenlerinden kanban (depodan üretim hattını beslerken vida, somun, cıvata gibi çok sayıda kullanılan malzemelerin hat kenarlarına beslenmesi sürecinde), sürekli akış, değer akış haritalama, set sevkiyat (dolly kullanımı), küçük partilerle akış prensipleri, sıfır stok (stok miktarının azaltılması), JIT (zamanında üretim ile toplam temin sürelerinin kısaltılması) ve kaizen (sürekli iyileştirme) yaklaşımları çalışma kapsamında kullanılmıştır.

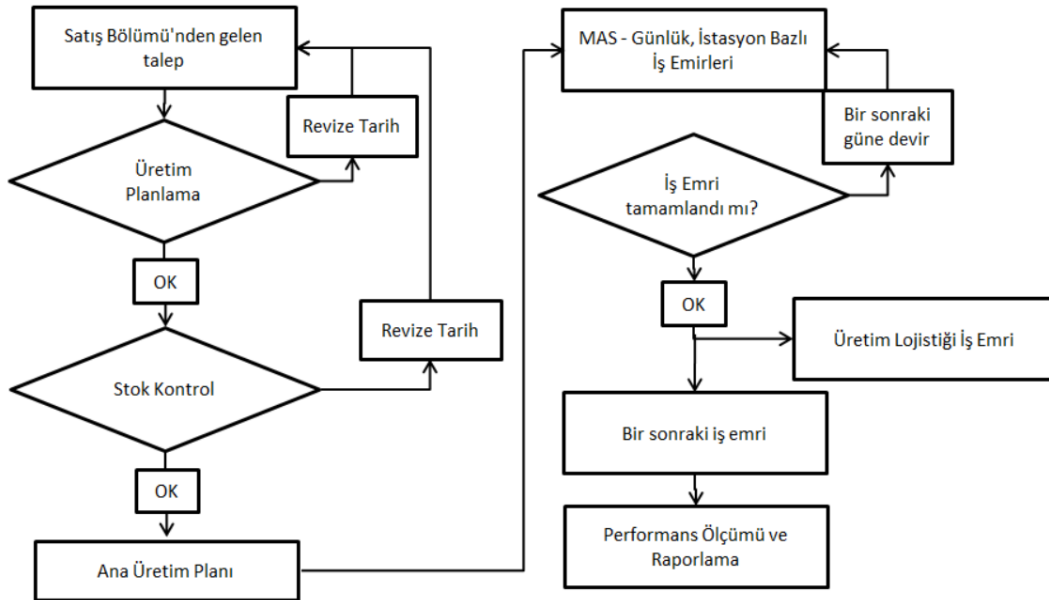
3.1.4.1 Üretim Lojistiği

Üretim operatörünün işi, kendisinden beklenen standart işi yaparak, yalın üretimin iki ana kolonundan birisinin ana amacı olan temin süresini minimumda tutmaktır. Bunun için tam zamanında prensibi ile hareket edilmelidir. Burada lojistik bölümü kritik rol oynar. Üretim lojistiği, operatörün ihtiyaç duyduğu ürünü, istenilen zamanda, istenilen yerde, istenilen miktarda ve kalitede bulundurmakla sorumludur. Dolayısı ile operatör, malzeme arama, taşıyıcı ekipman arama, götürme, depodan malzeme alma gibi işlerle uğraşmamalıdır.

Mevcut testteki bu problem için alınan karşönlem, üretim planlama tarafından üretilen iş emirlerinin, ilgili istasyonun amiri olan takım lideri tarafından tamamlanmasının ve MES sisteminde “tamamlandı” tuşuna basılmasının ardından, bu verinin lojistik operatörünün de ekranına düşmesi ile çözülmektedir. Başka bir ifade ile, takım liderinin iş emrini bitirdim sinyali vermesi, lojistik operatörüne de ayrı bir iş emri yaratır. İlgili iş emrini gören lojistik operatörü, ilgili iş istasyonuna giderek ilgili partiyi alır ve MES sisteminde belirtilen bir sonraki iş istasyonuna götürür. Böylece her bir parti kayıt altına alınmış olmakla birlikte, operatörler sadece günlük iş emirlerini standart işe uygun bir şekilde bitirmeye odaklanırlar.

3.1.4.2 ERP Entegrasyon

Tüm sistemin entegre bir şekilde işleyerek, etkin bir lojistik sistem ve planlı bir üretim anlayışına geçmek, kurumun ana amaçlarından biridir. Bu amaçla, şekil 6’da görülen bir yapı oluşturulmuş ve devreye alınmıştır. Bu yapıda kullanılan ERP yazılımı, Netsis ERP (Enterprise) paketi olarak belirlenmiştir. Bu yazılımda kullanılan temel modüller, üretim modülü çerçevesinde MRP (Malzeme ihtiyaç planlama) ve MRP II modülleridir. Bu modüller içerisinde kayıt, üretim, işlemler, raporlar, MRP ve üretim akış kontrol alt başlıkları yer almaktadır.



Şekil 6: ERP Entegrasyonu Yapılan Ana Sistemler ve Akış

Satış bölümünden gelen talepler üretim planlama bölümünde, mevcut iş yükü ve üretim planı çerçevesinde değerlendirilerek, uygun termin tarihleri belirlenir. Depo yönetimi de benzer şekilde gelen talep için ihtiyaç duyulan yarı mamullerin stok kontrollerini ve temin sürelerini kontrol ederek bir termin tarihi belirler. Belirlenen termin tarihleri satış bölümü ile istişare

edilerek uygun sipariş teslim tarihi belirlenir. Müşteri onayı sonrası belirlenen teslim tarihi ERP sistemine girilerek sipariş, üretim planına eklenir ve sabitlenir.

Üretim planı, günlük iş emirlerini istasyonlara iletir. İstasyonlara iletilen iş emirlerinin gerçekleşme durumu, MES sistemi tarafından kontrol edilir. Planın gerisinde kalan iş emirlerine ilişkin karşıönlemler planlanır. İş emirleri tamamlanan istasyonların lojistik ihtiyaçları, üretim lojistiğine gelen taşıma iş emirleri ile giderilir. Üretim lojistiği, gelen lojistik iş emrine bağlı olarak, nereden nereye hangi partinin gideceğini iş emrinde görür ve taşıma işlemini gerçekleştirir. Böylece, hangi partinin nereden nereye ne zaman hareket ettiği, hareket etmediyse (kayıp bir parti vb durumunda) şu an nerede olduğu anlık takip edilebilmektedir.

Diğer yandan tesis dışında işlem görmesi gereken parçaların takibi ise depo yönetiminin sorumluluğuna verilmiştir. Yan sanayide işlem görmesi gereken yarı mamuller depoya iletilir ve üretim depodan merkez depoya transferi Netsis üzerinden gerçekleştirilir. Depo yönetimi, ilgili yarı mamulleri yan sanayiye transfer eder ve bu kez de merkez depodan yarı mamul depoya depolar arası transfer yolu ile yarı mamuller aktarılır. Bu transfer sürecinde yarı mamulün hangi yan sanayiye ne zaman ne amaçla gönderildiği kayıt altına alınmaktadır. Aynı zamanda depo yönetimi, işlem görmesi için yan sanayiye gönderdiği yarı mamullerin teslim tarihlerini takip ederek, üretimin aksamamasından da sorumludur.

Sistemin planlandığı şekilde gidip gitmediğini kontrol etmekle sorumlu olan MES sistemi ise, şu raporlamaları yapabilmektedir.

- Hangi ürünün hangi iş adımları tamamlandı, hangileri zamanında tamamlanamadı
- Kalite problemleri
- Hat duruşları ve sebepleri
- Fire oranları
- Atık miktarları (gerekli ise)
- Arıza kaynaklı duruşlar
- Performans, kullanılabilirlik ve kalite (OEE) göstergeleri
- Anlık hedeflenen/gerçekleşen üretim miktarları (Parti bazında)
- İlgili yarı mamul teknik resimlerinin bulunduğu dosyalara ulaşım
- Anormallikler
- Geçmiş analizler

4. BULGULAR

Bölüm 3'te özetlenen problemler ve bu problemlere ilişkin olarak alınan karşıönlemler sonrası elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmiştir. Mevcut durum verileri, Netsis ERP sisteminin üretmiş olduğu planlı ve entegre üretim yönetim sistem çıktıları ve bu çıktıların simüle edilerek ortaya konan sonuçlar, MES sistemi aracılığı ile karşılaştırılmıştır. Bu üç aşamada elde edilen bulgular bu bölümde paylaşılacaktır.

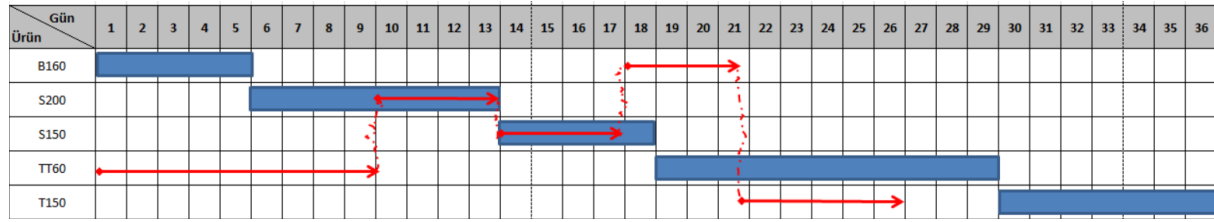
Mevcut durum verileri, çalışmanın başlangıç aşamasında elde edilen verilerden ve ölçümlerden elde edilmiştir ve üretimde herhangi bir ERP sisteminin kullanılmadığı dönemi ifade eder. Netsis ERP sistemi ise, tüm işletmenin depo yönetimi, sipariş yönetimi, üretim yönetimi ve üretim planlama süreçleri akışlarının iyileştirilmesi/geliştirilmesi sonrası ideal akışı oluşturacak şekilde yeniden yapılandırılmıştır. Netsis ERP sistemi kullanılarak planlanan üretim sürecinin ve tüm ilgili akışların geliştirilmesi sonucu elde edilen akışlar ve planlar, Arena 13.5 simülasyon yazılımı ile test edilmiş ve bulgular bu bölümde paylaşılmıştır.

Uygulama kapsamında, süreçlerin etkinliğini kontrol etmek amacı ile Netsis ERP sisteminin ürettiği üretim planı, ARENA 13.5 simülasyon yazılımında DES metodu yaklaşımı ile

simüle edilmiştir. Çalışma, temmuz 2022 – ağustos 2023 dönemini kapsamaktadır. Son safhada ise Netsis ERP vasıtasıyla yapılan üretim planları doğrudan sahada uygulanmış ve sonuçlar MES ile ölçümlenmiştir. Elde edilen bulgular, simülasyon sonuçları ve mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Simülasyonda, Netsis ERP programının t+1 ve t+2. aylar için üretmiş olduğu üretim programları (2 aylık) göz önünde bulundurulmuştur. Gerçek müşteri siparişleri doğrultusunda oluşturulmuş üretim planları etkinliği, Arena simülasyon programında test edilmiş ve gerçekleştirilebilirliği analiz edilmiştir.

Simülasyon sonuçları ile MES sisteminden elde edilen gerçek üretim verileri çıktıları, t-testi yardımı ile karşılaştırılmış ve iki ana kütle arasında, istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir. Ki-kare testi sonuçları, verilerin normal dağıldığını teyit etmiştir (Hesaplanan X^2 değeri < χ^2 tablo değeri). Modelin geçerliliği sınanmış ve elde edilen sonuçlar, hesaplanan t değerinin, tablo t değerinden küçük olduğunu, başka bir ifade ile modelin geçerli olduğunu ortaya koymuştur.

Simülasyon 60 gün ve günlük net 520 dakikalık çalışma süresi için tekrar sayısı 30 olacak şekilde çalıştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, 36 günde bitirilmesi planlanan 278 adet 5 farklı ürün için olan siparişlerin toplam bitirilme süresi her bir koşum için şekil 7’de görülmektedir. Bu görselde Netsis ERP sisteminin ürettiği üretim planı, kırmızı oklarla gösterilmektedir. Bu plana göre gerçekte 36 günde bitirilmesi planlanan siparişlerin, 26 günde tamamlanabileceği görülmüştür.



Şekil 7: Mevcut Üretim Planı ve Netsis Tabanlı Üretim Planı Simülasyon Sonuçları

Simülasyon sonuçları, mevcut duruma göre toplam temin süresinde %27,8 azalma olacağını olduğunu ortaya koymaktadır. Netsis ERP sisteminin geliştirilmiş sistem ve süreçler çerçevesinde yarattığı üretim planları ve iş emirleri, tüm iş istasyonları ve saha yöneticileri ile paylaşılmış ve yapılabilirliği gözden geçirilmiştir. Gözden geçirilme sonrası, üretilen üretim planlarının uygulamaya geçirilmesinde bir sakınca görülmemiş ve uygulamaya alınmıştır.

Netsis ERP sistemine bağlı olarak üretimin gerçekleştirilmesine karar verilmesinin ardından, MES sistemi yardımı ile üretim planlarının ne derece etkin bir şekilde sahada gerçekleştirildiği takip edilmiş ve ölçümlenmiştir.

Her üç durumdan elde edilen veriler tablo 4’te özetlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, günlük üretim adedi işgücünde herhangi bir değişiklik olmaksızın ortalama 7,7’den, 10,5’e (+%36,4) çıkmıştır. Çalışan verimliliği de benzer şekilde %37 artış göstermiştir. Bekleme sürelerinde de benzer bir azalış meydana gelmiştir. Ortalama 438 dk olan bekleme süresi %35 azalarak 284 dk’ya düşmüştür. Planlı üretim öncesinde ürün başı 7,8 olan eksik/hatalı parça sayısı, MES sistemi sonrası verilerde 3,6 düzeyine düşmüştür. Yine beklendiği üzere model başı ortalama üretim süresi (bir adet için) %29,6 düşüş göstermiştir. Simülasyon sonuçları ile MES sonuçları arasında ise yaklaşık %4,5 fark görülmektedir. Bu farkın sebepleri iki grupta toplanabilir. Bunlardan ilki öngörülemeyen problemler (makine arızası, çevresel problemler, dışsal değişimler), diğeri ise kalite problemleridir. Kurum kalite problemlerinin önüne

geçebilmek adına bir sonraki aşamada önlemler (jidoka sistemleri, kalite kapıları, yerinde kalite anlayışına yönelik adımlar) almayı planlamaktadır.

Tablo 4: Mevcut durum, simülasyon sonuçları ve gerçekleşen üretim sonucu elde edilen MES sistem sonuçları mukayesesi

	Günlük Ortalama Üretim (Adet)	Çalışan Verimliliği (kişi/adet)	Ortalama Proses Sayısı	Bekleyen Ortalama İş Sayısı	Ortalama Bekleme Süresi (dk)	Model Başı Ortalama Üretim Süresi (dk)	Ürün başı ortalama hatalı/eksik parça sayısı (adet)
Mevcut Durum Performansı	7,7	22,5		29	438	142,8	7,8
Arena Sonuçları	11	15,7	484	14,5	262	104,7	0
MES Sonuçları	10,5	16,4		18	284	100,5	3,6

5. SONUÇ

Yalın düşünce, son dönemde en popüler yönetim ve üretim yaklaşımlarından biri olup, kalite ve temin süresi göstergelerinde çok önemli iyileştirmeler yapabilme gücüne sahip yaklaşımlardan birisidir. Çok sayıda bileşene sahip olan bu yaklaşımının ana katalizörü ve çarpıcı sonuçlar yaratabilme gücünün arkasındaki temel etmen, bu bileşenlerin bütünsel olarak ve gönül gücü ile harmanlanması ve tüm süreçlerde aynı zihniyet ve bilinçle uygulanmasıdır. Diğer yandan günümüz işletmelerinin bir bölümü, yalın üretimin yaratacağı değeri tam olarak öngörememekte ve uygulamaya geçmekte tereddüt etmektedirler.

Simülasyon, karmaşık üretim ortamını öngörebilme ve sistematik değişimleri önceden tahmin edebilme amacıyla yalın üretim araştırmalarında sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisidir. Yalın yaklaşımın ve bileşenlerinin farklı yaklaşımlar sonucu farklı çıktılar üretebilme becerisi ve çarpıcı sonuçlar üretebilme yetisi nedeniyle, yaklaşımın uygulamaya geçilmeden önce üreteceği çıktının tahmin edilmesi/görselleştirilmesi ve karar vericilere sunulması önem arz etmektedir. İsrâfların ne oranda azaldığının ve temin süresinin geldiği düzeyin simüle edilerek ortaya konması, yalın üretim uygulamalarının yaygınlaştırılmasında önem arz etmektedir.

Otomotiv sektörü başta olmak üzere çok sayıda sektör tarafından etkin bir şekilde kullanılan yalın üretim sistemleri, bu çalışma kapsamında yapılan uygulamada da önemli çıktılar elde etmiştir. Uygulama öncesi gerçekleştirilen simülasyon sonuçları ile uygulama sonrası elde edilen sonuçlar arasında %4,5 fark çıkmıştır. Yine çalışan verimliliğine ilişkin simülasyon sonuçları ile uygulama sonrası elde edilen verimlilik arasında ise %4,4'lük bir fark bulunmaktadır. Benzer şekilde ortalama bekleyen iş sayısı ve ortalama bekleme süresi simülasyon sonuçları ile uygulama sonuçları arasında %24 ve %8,4'lik bir fark olduğu görülmüştür. Ürün başı ortalama hatalı/eksik parça sayısı ise, simülasyon sonuçlarına göre sıfır olması gerekirken 3,6 adet olarak gerçekleşmiştir. Bu farkların sebepleri incelendiğinde, üretim

ortamında oluşan standart dışı çeşitli uygulamalar ile tedarikçi ve lojistik kaynaklı problemlerin olduğu görülmüştür.

Yalın üretim bileşenlerinin kullanımı ile beraber ise, temin süresi %36,3 azaltılmış; çalışan verimliliği de benzer şekilde %27 artmıştır. Bekleyen iş adedi ve ortalama bekleme süreleri de sırası ile %31 ve %35 düşürülmüştür. Kaliteyi doğrudan etkileyen ve temin süresini önemli ölçüde uzatan etmenlerin başında gelen hatalı/eksik parça sayısı ile %54 oranında azaltılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan temel göstergeler çerçevesinde ürün kalitesinde ciddi bir iyileşme yakalanmış olup, temin süresi yaklaşık olarak 1/3 oranında azaltılmıştır.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, dışsal problemlerin (tedarikçi ve lojistik kaynaklı problemler başta olmak üzere) önlenmesi için gerekli çalışmaların başlatılması planlanmaktadır. Bu çalışmalar sonucu yapılacak tasarımın da uygulama öncesi simüle edilmesi ve sonuçlarının paylaşılması planlanmaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

Yazarların Makaleye Katkı Oranları

Yazar'ın makaleye katkısı %100'dür.

Çıkar Beyanı

Yazarlar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Aksar, O., Elgun, D., Beldek, T., Konyalıoğlu, A. K., & Camgöz-Akdağ, H. (2022). An integrated value stream mapping and simulation approach for a production line: a Turkish automotive industry case. In *Digitizing Production Systems: Selected Papers from ISPR2021*, October 07-09, 2021 Online, Turkey (pp. 357-371). Springer International Publishing.
- Andersson, M., & Olsson, G. (1998). A simulation based decision support approach for operational capacity planning in a customer order driven assembly line. In *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings* (Cat. No. 98CH36274) (Vol. 2, pp. 935-941). IEEE.
- Gebus, S., Soulas, A., & Juuso, E. (2013). Short term scheduling in electronics manufacturing using discrete-event simulation. *Proceedings of SIMS-Scand. Simul. Soc.*, 1-7.
- Goienetxea Uriarte, A., Ng, A. H., & Urenda Moris, M. (2020). Bringing together Lean and simulation: a comprehensive review. *International Journal of Production Research*, 58(1), 87-117.
- Harish, D. R., Gowtham, T., Arunachalam, A., Narassima, M. S., Lamy, D., & Thenarasu, M. (2024). Productivity improvement by application of simulation and lean approaches in an multimodel assembly line. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 238(6-7), 1084-1094.
- Jeon, S. M., & Kim, G. (2016). A survey of simulation modeling techniques in production planning and control (PPC). *Production Planning & Control*, 27(5), 360-377.
- Johny J, & Thenarasu M. (2019). Productivity enhancement in A pressure vessel manufacturing industry using lean principles. *Int J Innov Technol Exploring Eng (IJITEE)*; 8(8): 3272–3279.
- Kotowska, J., & Burduk, A. (2018). Optimization of production support processes with the use of simulation tools. In *Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 38th International Conference on Information Systems Architecture and Technology-ISAT 2017: Part III* (pp. 275-284). Springer International Publishing.
- Mazumder S, Padmanabhan S & Thenarasu M. (2020). Assembly line balancing and workstation design for a manufacturing industry. *Int J Sci Technol Res.* 9(3), 6470–6475

- Mohamad, E., Ibrahim, M. A., Shibghatullah, A. S., Rahman, M. A. A., Sulaiman, M. A., Rahman, A. A. A., et.al. & Salleh, M. R. (2016). A simulation-based approach for lean manufacturing tools implementation: a review. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(5), 3400-3406.
- Neeraj, R. R., Nithin, R. P., Niranjhan, P., Sumesh, A., & Thenarasu, M. (2018). Modelling and simulation of discrete manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 24971-24983.
- Olhager, J., & Wikner, J. (2000). Production planning and control tools. *Production Planning & Control*, 11(3), 210-222.
- Schroer, B. J. (2004). Simulation as a tool in understanding the concepts of lean manufacturing. *Simulation*, 80(3), 171-175.
- Shou, W., Wang, J., & Wu, P. (2021). The application of simulation in lean production research: a critical review and future directions. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(8), 2119-2154.
- Sohn, H., Tanasic, Z., & Song, T. H. (2022, March). System Simulation of High Voltage Circuit Breaker using Multi Object Optimization. *6th International Conference on Electric Power Equipment-Switching Technology (ICEPE-ST)* (pp. 339-342). IEEE.
- Su Min Jeon & Gitae Kim (2016) A survey of simulation modeling techniques in production planning and control (PPC), *Production Planning & Control*, 27:5, 360-377, DOI: 10.1080/09537287.2015.1128010
- Tokola, H., Niemi, E., & Väistö, V. (2015, December). Lean manufacturing methods in simulation literature: Review and association analysis. *Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2239-2248). IEEE.
- Venkateswaran, J., & Son, Y. J. (2005). Hybrid system dynamic—discrete event simulation-based architecture for hierarchical production planning. *International Journal of Production Research*, 43(20), 4397-4429.
- Yuan, Z., Qiao, Y., Guo, Y., Wang, Y., Chen, C., & Wang, W. (2020). Research on lean planning and optimization for precast component production based on discrete event simulation. *Advances in Civil Engineering*, 2020(1), 8814914.

Extended Summary

Integration of a Lean Manufacturing Supported Production Management System: A Simulation Application

Lean manufacturing applications stand out as a powerful corporate approach and philosophy used by many industries due to their impressive outcomes. Simulating the results of lean manufacturing components and sharing them with decision-makers facilitates the transition to implementation and the adoption of the lean approach throughout the organization. Simulation is one of the frequently used methods in lean manufacturing research for anticipating complex production environments and predicting systematic changes in advance. Due to the ability of the lean approach and its components to produce different outputs based on various approaches and their capacity to generate striking results, predicting/visualizing the outputs of the design before implementation and presenting them to decision-makers makes it easier to start lean initiatives. Demonstrating the extent of waste reduction and the achieved level of lead time through simulation is crucial for the widespread adoption of lean manufacturing practices.

The main aim of this study is to present the potential outcomes of lean manufacturing systems and components to decision-makers in advance, thereby contributing to the widespread adoption of the lean manufacturing approach. When integrated with lean manufacturing practices, ensuring the smooth flow of all main systems can yield significant results, which are presented in this study. The study expects to achieve the remarkable results of lean manufacturing approaches, as frequently noted in the literature.

The use of simulation methods to present the results obtained from the implementation of lean manufacturing and lean manufacturing systems began in the 1990s. Although many studies have been conducted in this field, key studies include Su and Kim (2016) and Tokola and Väistö (2015), which examined the role of lean manufacturing methods and simulation in demonstrating their effectiveness. Shou et al. (2021) conducted research reviewing 311 studies over the past 20 years, providing a critical approach to simulation techniques used in lean manufacturing research. Another fundamental study by Uriarte et al. (2020) investigated the impact of integrating lean manufacturing and simulation methods on system design and improvement processes.

In this study, the goal was to optimize the entire process by integrating warehouse, purchasing, production planning, and production management systems with an ERP software in a company operating in the automotive sector, where 8175 different raw materials/semi-finished products are used to produce product groups consisting of an average of 950 parts. Lean manufacturing techniques were utilized during this process to establish a balanced production and production management system.

The data used in the study were obtained from time studies conducted within the organization over a period of approximately six months. Analysis of these data was performed using the Arena simulation program and MS Excel.

Countermeasures to the problems encountered in the current situation were developed using lean manufacturing techniques; the heijunka approach was employed to ensure a planned and efficient production flow among all units. Daily work plans were created based on a single main production plan for all units, and the resulting work orders were tracked through the established MES (Manufacturing Execution System) system. The planned and actual processes could be monitored in real-time under the control of the MES system.

Lean manufacturing systems, used effectively across many industries including the automotive sector, yielded significant outcomes in the application conducted within this study.

There was a 4.5% difference between the results of pre-implementation simulations and post-implementation results. Additionally, there was a 4.4% difference between simulation results and post-implementation productivity data. Similarly, the average number of pending jobs and average waiting time showed a 24% and 8.4% difference, respectively, between simulation results and application outcomes. The average number of defective/missing parts per product was expected to be zero according to simulation results but was found to be 3.6. Examination of these discrepancies revealed that various non-standard practices in the production environment and issues related to suppliers and logistics were contributing factors.

With the use of lean manufacturing components, lead time was reduced by 36.3%, and employee productivity increased by 27%. The number of pending jobs and average waiting times were reduced by 31% and 35%, respectively. The number of defective/missing parts, a major factor affecting quality and significantly extending lead times, was reduced by 54%. The study achieved a significant improvement in product quality within the framework of key indicators, and the lead time was reduced by approximately one-third.