



**DEĞER AKIŞ HARİTALAMA YÖNTEMİ İLE
İŞLETMELERDE ÜRETİM KAYIPLARININ
AZALTILMASI: AHŞAP SEKTÖRÜNDE BİR
UYGULAMA**

**2021
DOKTORA TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

Erkan Sami KÖKTEN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL**

**DEĞER AKIŞ HARİTALAMA YÖNTEMİ İLE İŞLETMELERDE ÜRETİM
KAYIPLARININ AZALTILMASI: AHŞAP SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

Erkan Sami KÖKTEN

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Nisan 2021

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	1
TEZ ONAY SAYFASI.....	3
DOĞRULUK BEYANI	4
ÖNSÖZ	5
ÖZ.....	6
ABSTRACT.....	8
ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ.....	10
ARCHIVE RECORD INFORMATION	11
KISALTMALAR	12
ARAŞTIRMANIN KONUSU	13
ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ.....	16
ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ.....	17
PROBLEM	19
KAPSAM VE SINIRLILIKLAR	21
1. YALIN DÜŞÜNCE	23
1.1. Yalın Kavramı	23
1.2. Yalın Düşüncede İsrar.....	24
1.3. Yalın Düşüncenin İlkeleri.....	25
1.3.1. Değer	26
1.3.2. Değer Akışı.....	26
1.3.3. Sürekli Akış.....	27
1.3.4. Çekme Sistemi.....	27
1.3.5. Mükemmellik	27
1.4. Yalın Üretim	28
1.5. Yalın Üretimin Faydaları	28
1.6. Yalın Üretimde Yararlanılan Bazı Araçlar	29
2. DEĞER AKIŞ HARİTALAMA	33
2.1. Değer Akış Haritalama Süreci Sembolleri.....	34
2.2. Değer Akış Haritalamanın Aşamaları.....	36
2.3. Değer Akış Haritalama Yönteminin Faydaları	37

2.4. İlgili Çalışmalar	37
3. YÖNTEM	48
3.1. Araştırma Modeli ve Veri Toplama Süreci	48
3.2. Kesme Problemi	49
3.2.1. Pisagor Teoreminin Kablo Makarası Diskinde Uygulanması.....	53
3.2.2. Matematiksel Formülasyon	53
3.2.3. İki Aşamalı Ayırıştırma Algoritması	55
4. ÜRETİM SEKTÖRÜNDE UYGULAMA.....	58
4.1. Ahşap Endüstrisi	58
4.2. Uygulama	59
4.3. Değer Akış Haritalama Süreci	62
4.3.1. Ürün Ailesinin Seçilmesi	62
4.3.2. Mevcut Durum Analizi.....	63
4.3.3. Gelecek Durum Analizi.....	69
4.3.4. İyileştirme Çalışmaları.....	72
4.3.4.1. Toplam Üretken Bakım	73
4.3.4.2. İşgücü Eğitimi	75
4.3.4.3. Kesim Planlaması	78
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	85
KAYNAKÇA.....	88
TABLolar LİSTESİ	105
ŞEKİLLER LİSTESİ	106
EKLER	107
ÖZGEÇMİŞ	108

TEZ ONAY SAYFASI

Erkan Sami KÖKTEN tarafından hazırlanan “DEĞER AKIŞ HARİTALAMA YÖNTEMİ İLE İŞLETMELERDE ÜRETİM KAYIPLARININ AZALTILMASI: AHŞAP SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İşletme Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 08/04/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Şenol ALTAN (HBV)

Üye : Prof. Dr. Erdoğan ÖZTÜRK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İlyas HAŞİMOĞLU (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (HÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora Tezi derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmayı bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı herhangi bir yola tevessül etmeden yazdığımı, araştırmamı yaparken hangi tür alıntıların intihal kusuru sayılacağını bildiğimi, intihal kusuru sayılabilecek herhangi bir bölüme araştırmamda yer vermediğimi, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eslere metin içerisinde uygun şekilde atıf yapıldığını beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak ahlaki ve hukuki tüm sonuçlara katlanmayı kabul ederim.

Adı Soyadı: Erkan Sami KÖKTEN

İmza :

ÖNSÖZ

İlk olarak Toyota tarafından Toyota Üretim Sistemi olarak ortaya çıkan yalın üretimin özü, sürekli iyileştirme ve israfların ortadan kaldırılması yoluyla müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasına dayanmaktadır. Yalın üretimin temel amacı, ürüne herhangi bir değer katmayan israfların yok edilmesidir. İsrarlar performans, kalite ve maliyetler üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Yalın üretim anlayışının, değer akışında israfların tanımlanması ve ortadan kaldırılması yolunda, ahşap sektöründe faaliyet gösteren işletmelere önemli bir güç sağlayacağı düşünülmektedir.

Vaka çalışmasının gerçekleştirildiği işletme yöneticilerine ve çalışanlarına gösterdikleri ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Çalışmanın planlanması, araştırılması ve yürütülmesinde engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Fazıl ALİOĞLU'na, çalışma boyunca bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL'e, tez izleme komitesinde yer alan ve yapıcı eleştirileri ile tezime katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Erdoğan ÖZTÜRK ve Doç. Dr. İlyas HAŞİMOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında manevi destekleriyle yanımda olan sevgili eşime ve canım kızıma çok teşekkür ederim.

Erkan Sami KÖKTEN

ÖZ

Üretim kaynaklarının kısıtlı ve maliyetlerin yüksek olduğu günümüz yoğun rekabet ortamında işletmeler varlıklarını sürdürebilmek amacıyla değer akışında gizli israfları yok etmek, üretim etkinliğini arttırmak ve sürekli iyileştirme prensibini benimsemek zorundadır. Müşteri taleplerini anlamak ve tam zamanında karşılamak, rekabet açısından önemi artan faktörler arasında yer almaktadır. Yalın üretim temel olarak, süreçlerde israfların ortadan kaldırılması, müşteri ihtiyaçlarının karşılanması, operasyonel verimliliğin artırılması ve maliyetlerin azaltılması üzerinde durmaktadır. Yalın üretim araçları kalitelerini ve performanslarını iyileştirmeyi hedefleyen işletmeler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Yalın üretim uygulamalarından biri olan değer akışı analizi, değer katmayan faaliyetlerin tanımlanması ve süreçlerin iyileştirilmesi yolunda sistematik bir plan geliştirmede faydalı bir yaklaşımdır. Değer akış haritalama, çevrim süresini, hataları, maliyetleri, değer katmayan süreyi, kayıpları azaltmada ve ürün kalitesini, katma değer oluşturan süreyi, teslim süresini ve üretkenliği iyileştirmede etkili bir yöntemdir. Bu tez çalışmasında, üretim sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin üretim problemlerine çözüm üreterek müşteri memnuniyetinin sağlanması amacıyla değer akışı analiz edilmiştir. Buna göre, ahşap kablo makarası üretimi için mevcut durum haritası oluşturulmuştur ve iyileştirme noktaları belirlenmiştir. Sürecin iyileştirilmesine yönelik çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir ve potansiyel iyileştirmeler ile gelecek durum değer akış haritası oluşturulmuştur. Sayısal analizler ile iyileştirme çalışmalarının getirileri değerlendirilmiştir ve sonuçlar mevcut durum ile kıyaslanmıştır. İşletmede mevcut durumda çok fazla israf kaynağının bulunduğu tespit edilmiştir. Buna göre işletmede, yalın üretim yolunda toplam üretken bakım, kesim planlama ve işgücü eğitimi ile ilgili iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. İyileştirme faaliyetleri sonucunda gelecek durumda, üretim akış süresi, işlem süresi ve stok düzeyinde azalma sağlanmıştır. Buna ek olarak kesim planlaması için oluşturulan karar destek modeli ile birtakım sayısal analizler tasarlanarak üretim ve talep değişkenleri doğrultusunda çözüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan talep ve kapasite yükü senaryolarında

hammadde kaybının makul seviyeye indirildiği ve üretim sürecinde alınan planlama kararları ile kesim ve kurulum süresinin, üretim hatalarının azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Değer Akış Haritalama; Yalın Düşünce; Karar Destek Modeli; Verimlilik

ABSTRACT

In today's competitive environment production resources are limited and the production costs are high. Enterprises should eliminate the hidden waste in the value stream, increase the production efficiency and adopt the principle of continuous improvement in order to sustain their existence in the market. One of the important factors is to meet customer demand in time in the competitive environment. Lean manufacturing basically focuses on eliminating waste in processes, meeting customer needs, increasing operational efficiency and reducing costs. Lean manufacturing tools are widely used by enterprises aiming to improve quality and performance. Value stream analysis, which is a lean manufacturing application, is a useful approach in defining non-value-added activities and developing a systemic plan for the improvement of processes. Value stream mapping is an effective method for reducing cycle time, errors, costs, non-value-added time, losses and improving product quality, value-added time, lead time and productivity. In this thesis, the value stream of an enterprise operating in the production sector has been analyzed in order to provide customer satisfaction by solutions to production problems. For this purpose, the current condition map is created for wooden cable spool production and several process improvement directions are identified. Solution approaches for the improvement of the process are developed and a future condition map is created with potential improvements. The benefits of the improvement approaches are evaluated with numerical analysis and the results are compared with the current condition. We observe many sources of waste in the current condition map and so, define the improvement directions in terms of total productive maintenance, cutting planning, and labour education for lean manufacturing. As a result of the improvement directions, production flow time, processing time and stock level are reduced in the future condition. In addition, the numerical analyses under production and demand variables are conducted on the demand and capacity load scenarios. We conclude that the raw material loss is decreased to a reasonably acceptable level. The time elapsed for the

cutting and assembly operations, the production errors are eliminated by the proposed cutting plan.

Keywords: Value Stream Mapping; Lean Thinking; Decision Support Model; Productivity

ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ

Tezin Adı	Değer Akış Haritalama Yöntemi ile İşletmelerde Üretim Kayıplarının Azaltılması: Ahşap Sektöründe Bir Uygulama
Tezin Yazarı	Erkan Sami KÖKTEN
Tezin Danışmanı	Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL
Tezin Derecesi	Doktora
Tezin Tarihi	08/04/2021
Tezin Alanı	İşletme
Tezin Yeri	KBÜ/LEE
Tezin Sayfa Sayısı	108
Anahtar Kelimeler	Değer Akış Haritalama; Yalın Düşünce; Karar Destek Modeli; Verimlilik

ARCHIVE RECORD INFORMATION

Name of the Thesis	Reducing Production Losses in Organizations by Value Stream Mapping: An Application in Wood Industry
Author of the Thesis	Erkan Sami KÖKTEN
Advisor of the Thesis	Assist. Prof. Dr. Çağrı SEL
Status of the Thesis	PhD
Date of the Thesis	08/04/2021
Field of the Thesis	Business Administration
Place of the Thesis	KBU/LEE
Total Page Number	108
Keywords	Value Stream Mapping; Lean Thinking; Decision Support Model; Productivity

KISALTMALAR

CNC	: Bilgisayarlı Nümerik Kontrol
C/T	: Çevrim Süresi
DMAIC	: Tanımla, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol
DP	: Dinamik Programlama
FIFO	: İlk Giren İlk Çıkar
ILP	: Tamsayılı Doğrusal Programlama
INLP	: Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama
JIT	: Tam Zamanında
SMED	: Tekli Dakikalarda Model Değişimi
SP	: Stokastik Programlama
5S	: Toparlama, Düzen, Temizlik, Standartlaşma, Disiplin

ARAŞTIRMANIN KONUSU

Küresel pazarın rekabet gücündeki artış hem kaliteli ürün üretimi hem de üretim sistemlerinin verimli olma zorunluluğu bakımından üretici firmalar üzerinde artan bir baskı oluşturmaktadır. Müşteri taleplerini en doğru şekilde anlamak ve bu talepleri tam zamanında karşılamak, işletmeler açısından önemi her geçen gün daha da artan konulardan birisi durumuna gelmiştir. Bununla birlikte, teslimat süreleri ve teslimat güvenilirliği gibi lojistik faktörler de son yıllarda giderek daha rekabetçi hale gelmiştir. Rekabetçi kalabilmek için üretim işletmelerinin, üretim ve lojistik süreçlerinin verimliliğini ve esnekliğini artırması ve böylece müşteri tarafından talep edilen kısa teslimat sürelerini ve yüksek teslimat güvenilirliğini garanti altına alması gerekmektedir. Günümüzde birçok işletme bu gereksinimlere yanıt vererek yalın üretim anlayışı ile üretim süreçlerini iyileştirme yoluna gitmiştir (Busert & Fay, 2020).

Yalın üretim, küresel başarıya sahip olan nispeten yeni bir stratejidir. İlk olarak Toyota tarafından Toyota Üretim Sistemi olarak ortaya çıkan yalın üretimin özü, sürekli iyileştirme ve israfların ortadan kaldırılması yoluyla müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasına dayanmaktadır. Yalın üretim anlayışı, katma değer oluşturmeyen faaliyetler olarak adlandırılan israflara odaklanmaktadır (Womack & Jones, 1996). İsrif, müşteri için değer sunmayan herhangi bir şey olarak tanımlanmaktadır. Yalın üretimin amacı, ürüne herhangi bir değer katmayan ve maliyet artışına neden olan israfların ortadan kaldırılmasıdır. İsrifler prosedürlerde, süreçlerde, ürün tasarımlarında ve işlemlerde, kısacası her zaman ve her yerde gizli olarak bulunabilmektedir (Seth & Gupta, 2005). Yalın üretim anlayışı, değer akışında israfların tanımlanması ve ortadan kaldırılması yolunda işletmelere önemli bir güç sağlamaktadır. İsrifler performans, kalite ve maliyetler üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır ve müşterilerin ödeme yapmak istemeyeceği, değer sunmayan işlemlerdir. Yalın üretimin temeli, yüksek kalite ve düşük üretim maliyetleri elde etmek ve sürekliliğini sağlamak için olası israf kaynaklarının tespit edilip ortadan kaldırılmasına dayanmaktadır (Rymaszewska, 2014; Shah & Ward, 2003). Yalın üretim uygulaması, daha verimli süreçler ve daha esnek değer akışları sağlayacak iyileştirme fırsatlarının belirlenmesine olanak tanıyarak işletmelerin gelişimini desteklemektedir. Bu anlamda, en popüler yalın üretim uygulamalarından biri olan değer akışı analizi, değer katmayan faaliyetlerin tanımlanması ve süreçlerin

iyileştirilmesi yolunda sistematik bir plan geliştirmede faydalı bir yaklaşımdır. İşletmelerde, değer akışını analiz etmek ve kârlılığı etkileyebilecek kritik iyileştirme ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla değer akış haritalama yönteminden yararlanılmaktadır (Luz vd., 2021). Yalın üretimin en önemli araçlarından biri olan değer akış haritalama hataların, kayıpların ve teslim süresinin belirlenmesine ve azaltılmasına, değer yaratma süresinin iyileştirilmesine ve maliyetlerin azaltılmasına olanak tanımaktadır (Dadashnejad & Valmohammadi, 2019). Değer akış haritalama yaklaşımı, değer katmayan faaliyetleri ortadan kaldırarak daha az kaynakla daha fazlasını yapmaya odaklanmaktadır (Romero & Arce, 2017). Değer akış haritalama, Őeffaflıęı artırmak ve üretim sürecindeki iyileştirmeleri desteklemek amacıyla imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Lugert vd., 2018).

Değer akış haritalama, son yıllarda yalın düşünme ve uygulama için popüler bir yöntem haline gelmiştir. Rother & Shook (1999) tarafından oluşturulan bir süreç iyileştirme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Değer akış haritalama genel olarak, bir değer akışındaki bilgi ve malzeme akışında, katma değer yaratan ve katma değer yaratmayan etkinlikleri belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Yöntemin, süreç izlenebilirliğini artırmada, teslim süresini ve envanteri azaltmada etkili olduğu kanıtlanmıştır (Shou vd., 2017). Bunun yanında yöntem, üretim çevrim süresi, çalışma süresi, kurulum süresi, değişim süresi, proses envanteri, insan gücü gereksinimi ve hammaddeden bitmiş ürünlere kadar olan bilgi akışı gibi bilgileri incelemektedir. Değer akış haritalama katma değeri olan ve olmayan faaliyetleri birbirinden ayırmaktadır (Singh vd., 2011).

Değer akış haritalama, bir yalın yönetim tekniğidir. Çevrim süresi, değişim süresi, çalışma süresi, katma değer oluşturulan süre ve bekleyen envanter miktarı gibi önemli ayrıntıları içeren üretim süreci haritasının oluşturulmasında kullanılmaktadır (Rother & Shook, 1999). Değer akış haritalama süreci aşamalar halinde tanımlanabilmektedir. İlk olarak, üretimin mevcut durumunun haritası oluşturulur. Mevcut duruma göre israfların belirlenmesi ile devam edilir. Sonrasında, sürecin iyileştirilmesine yönelik çözüm yaklaşımları geliştirilebilir. Potansiyel iyileştirmeler ile bir gelecek durum değer akış haritası oluşturulur. Daha sonra, yeni sürecin uygulaması gerçekteştirilebilmektedir (Nowak vd., 2017). Bu çalışmada, üretim sektöründe faaliyet gösteren ve siparişlerin tamamlanmasında gecikme, hammadde kaybına dayalı yüksek maliyet, üretim hataları ve yüksek ara mamul stoku gibi

problemler yaşayan bir işletmenin mevcut ve gelecek durum değer akış analizi konu alınmıştır.

ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Bu araştırmada, ahşap kablo makarası üretimi üzerine faaliyet gösteren bir işletmenin değer akış haritası sunulmaktadır. Araştırma ile üretim problemlerine çözüm üreterek müşteri memnuniyetinin sağlanması amaçlanmıştır. İlk olarak belirlenen ürün ailesine göre mevcut durum haritası oluşturulmuştur ve israf kaynakları tanımlanmıştır. Sonrasında, sürecin iyileştirilmesine yönelik çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir ve potansiyel iyileştirmeler ile gelecek durum değer akış haritası oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile kıyaslanarak yorumlanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde uygun yöntemler önerebilmek için araştırmanın önemi ve amaçları ele alınmıştır. Buna göre araştırmada;

- Değer akış haritalama yönteminden yararlanarak bir üretim işletmesinde israf kaynaklarının tespit edilmesi ve bu doğrultuda iyileştirme uygulamalarının belirlenmesi,
- Değer akış haritalama yönteminin, ahşap endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletme için faydalarının değerlendirilmesi,
- Sıklıkla karşılaşılan üretim problemlerinin kök nedenlerinin belirlenmesi ve çözüm önerilerinin sunulması,
- Bulguların endüstri ve işletme açısından kazanımlarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Bu çalışmanın konusu seçilen bir ürün ailesi için değer akış analizi gerçekleştirmek ve bu doğrultuda sürecin mevcut ve gelecek durum değer akış haritalarını oluşturmaktır. Bu kapsamda bir vaka çalışması ele alınmıştır. Gerring (2004) vaka çalışmasını "daha geniş bir birim kümesine genelleme yapabilmek amacıyla tek bir birimin araştırılması" olarak tanımlamıştır. Vaka çalışmasında organizasyon olarak ahşap endüstrisinde faaliyet gösteren bir üretim firması seçilmiştir. Araştırmanın uygulaması, ürün ailesi ile sınırlandırılmıştır. Mevcut ve gelecek durum değer akış haritasının oluşturulmasında kullanılan veriler üretim sahasında gözlem, inceleme ve görüşme tekniklerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Üretim şefi, üretim mühendisi ve birim sorumlularından oluşan bir çalışma ekibi kurulmuştur. Ürün ailesi olarak, en fazla üretim miktarına sahip olması ve üretim problemlerinin en yoğun gözlemlendiği süreç olması nedeniyle ahşap makara üretim hattı seçilmiştir. Belirlenen ürün ailesine yönelik üretim akış şeması çizildikten sonra veri toplama adımına geçilmiştir. Çalışma ekibi ile gerçekleştirilen toplantılar sırasında beyin fırtınası yönteminden yararlanılmıştır. Çalışmada, mevcut durum değer akış haritasının oluşturulmasıyla birlikte iyileştirme noktaları belirlenmiş ve gelecek durum değer akış haritası çizilmiştir.

Yalın üretim yolunda toplam üretken bakım, işgücü eğitimi ve kesim planlaması ile ilgili iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Toplam üretken bakım çalışması kapsamında, işletmeye üretken bakım anlayışının kazandırılması amacıyla periyodik bakım formu hazırlanmıştır. Makine/Teçhizat bakım formu üretim aracında gerçekleştirilen yağlama, temizlik, ömrünü tamamlamış, yıpranmış veya hasar görmüş parçaların değişimi/tamiri gibi bakım çalışmalarının takibinin yapılmasını sağlamaktadır. İşgücü eğitimi kapsamında, çalışanların eğitim ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla çalışan yetenek matrisi oluşturulmuştur. Kesim planlaması kapsamında bir kesme problemi ele alınmıştır. Oluşturulan matematiksel model, IBM ILOG CPLEX optimization studio sürüm 12.8.0.0 Constraint Programming (CP) optimizer ile çözülmüştür. Matematiksel modelin hesaplama yükünü azaltmak amacıyla model, boyutlandırma ve kesim kararları için "stok büyüklüğü seçimi" ve "stok kesme" olarak adlandırılan iki alt modele ayrıştırılmıştır. Stok büyüklüğü seçimi alt modeli bir tamsayılı doğrusal olmayan programlama

modelini temsil etmektedir. Stok kesme alt modeli ise bir tamsayılı doğrusal programlama modelidir. Alt modellerin çözümü bir akış boyutunda ele alınmıştır. Ayrıştırma algoritmasının gerçek hayat problemlerinde uygulanabilirliğini test etmek amacıyla ürün ve talep çeşitliliği değişkenliklerinde sayısal analizler gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

PROBLEM

Üretim kaynaklarının kısıtlı, maliyetlerinin ise yüksek olduğu günümüz piyasa koşullarında işletmeler, rekabet edebilmek için hammaddeden tasarruf sağlamak ve üretim etkinliğini arttırmak zorundadır. Bu da işletmelerde verimliliğin artırılması amacıyla gerçekleştirilen planlamalar ile mümkün olabilmektedir. Sistemlerdeki iyileştirmeye yönelik kök nedenleri tanımak ve eylemleri ona göre planlamak anahtar çözümleri oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, müşteri taleplerini doğru bir şekilde anlamak ve tam zamanında karşılamak, işletmeler açısından önemi her geçen gün daha da artan konulardan birisidir. Günümüz rekabet ortamında kaliteli ürünü, zamanında ve müşterinin istediği fiyatlarda sunabilmek, ürünü üretmek kadar önemli bir duruma gelmiştir. Özetle, organizasyonların rekabet edebilmeleri için mevcut kaynaklarını verimli bir şekilde kullanması, israfı ortadan kaldırması/en aza indirmesi ve kaliteli ürünlerin sunumunu zamanında gerçekleştirmesi gerekmektedir. İsrif performans, kalite ve maliyet üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır ve müşterilerin ödeme yapmak istemeyeceği, değer katmayan faaliyetler olarak nitelendirilmektedir. Müşteriye ve sektöre göre değişkenlik gösterse de genel olarak montaj, kesme, boyama, kaynak gibi ürüne katkı sağlayan faaliyetler değer olarak; taşıma, sayma, stoklama, bekleme, kalitesizlik gibi ürüne katkı sağlamayıp müşterinin ödeme yapmak istemeyeceği faaliyetler israf olarak tanımlanmaktadır.

Vaka çalışmasının gerçekleştirildiği işletmede yöneticiler ve teknik çalışanlar ile gerçekleştirilen toplantı sonucunda; siparişlerin zamanında hazırlanamadığı, hammadde kaybına dayalı maliyetlerin yüksek olduğu, uzun onarım süresi gerektiren üretim hatalarının ve firelerin bulunması ve artan yarı mamul stoku gibi problemler tespit edilmiştir. Belirlenen problemler üzerine önlem almak amacıyla gerekli analizlerin yapılması ve iyileştirilmelerin uygulanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda üretimin sürdürülebilmesi için gerekli olan faaliyetlerin belirlenmesi ve bu faaliyetlerin dışında kalan israfların azaltılması amacıyla iyileştirme uygulamalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Değer akış haritalama, süreçte değeri artırmak amacıyla israfların ortadan kaldırılmasını hedeflemektedir. Böylece işletmeler değer akış haritalama yöntemini uygulayarak operasyonel kayıpları belirleyebilecektir ve bu kayıpları ortadan kaldırarak müşteri için daha fazla değer yaratmaya doğru ilerleyebilecektir. Bu çalışmada, değer akış haritalama yönteminden

yararlanılarak israflar belirlenmiştir ve iyileştirmeye yönelik eylem planları sunulmuştur. İyileştirme uygulamaları ile gelecek durum akış haritası oluşturularak sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.

Araştırmanın amaçlarında yer verildiği üzere bu çalışmada bir vaka analizi üzerinde durulmaktadır. Çalışmada, araştırma sorusu “Değer akış haritalama, işletmelerde üretimde karşılaşılan problemlerin çözümü amacıyla nasıl ele alınmalıdır?” şeklinde ifade edilmektedir.

KAPSAM VE SINIRLILIKLAR

Vaka çalışmasında organizasyon olarak ahşap endüstrisinde faaliyet gösteren ve ahşap kablo makarası üreten bir üretim firması seçilmiştir. Araştırmanın uygulaması, ürün ailesi ile sınırlandırılmıştır. Değer akış haritalamada, birden çok ürünün tek bir haritada gösterilmesi karışıklıklara neden olabileceği için çalışmada ürün ailesi olarak en fazla üretim miktarına sahip olması ve üretim problemlerinin en yoğun gözlemlendiği süreç olması nedeniyle ahşap makara üretim süreci seçilmiştir. Bu çalışmada ürün ailesinin seçilmesi, mevcut durum haritasının oluşturulması, gelecek durum haritasının oluşturulması ve uygulama olmak üzere dört aşamalı bir prosedür izlenmiştir. Üretim süreci hakkında bilgiler üretim sahasında gözlem ve yöneticiler ve teknik çalışanlar ile görüşmeler neticesinde elde edilmiştir. Günlük toplam çalışma süresi olan 480 dakika, çalışma saatlerinden (08:30-18:00) çay (30 dk) ve öğle yemeği (60 dk) molaları çıkarılarak hesaplanmıştır.

İşletmede sipariş üzerine üretim yapılmaktadır. Müşteri siparişleri ürünün tesliminden en az 2 hafta öncesinden işletmeye ulaştırılmaktadır. Üretim planlama birimi müşteri talepleri doğrultusunda ihtiyaçları satın alma bölümüne iletir ve satın alma birimi kalite standartlarına uygun olarak tedarikçilerden alım yapar. Buna göre kesim planlaması gerçekleştirilirken işletmede yeterli miktarda hammadde bulunmaktadır. Matematiksel modelin makul sonuçlarını elde etmek amacıyla çözüm süresi 10.800 CPU saniye ile sınırlandırılmıştır. Kesim planlaması neticesinde oluşturulan sayısal analizler, işletmede kullanılan 2 m, 2,5 m, 3 m, 4 m ve 5 m ara mamul boyları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, karar destek modelinde kesme operasyonları için kesim payı 0,02 m olarak kabul edilmiştir.

Takip eden bölümlerde, Bölüm 1’de çalışmanın temel fikrini oluşturan yalın düşünce kavramı ve ilkeleri açıklanmış, yalın üretimde yararlanılan temel araçlara değinilmiştir. Bölüm 2’de yalın üretim tekniklerinden biri olan ve bu çalışmada vaka analizinde yararlanılan değer akış haritalama tekniği detaylarıyla aktarılmıştır. Değer akış haritalamada yararlanılan semboller tanıtılmış ve literatürde daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalar gözden geçirilerek çeşitli değer akış haritalama uygulamalarının güçlü ve zayıf yönleri incelenmiştir. Bölüm 3’te araştırma modeli ve veri toplama yöntemi hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca uygulamada ele alınan kesme problemi hakkında bilgiler verilmiş, oluşturulan matematiksel formülasyon ve

iki aşamalı ayrıştırma algoritması tanımlanmıştır. Bölüm 4'te ahşap kablo makarası üretimi ile imalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilen uygulama sunulmuştur. İrafları ortadan kaldırmak/azaltmak ve üretim problemlerini çözmek amacıyla sürecin mevcut durum analizi yapılmıştır. Kayıp noktaları belirlenerek iyileştirme çalışmaları değerlendirilmiştir. Sonuçlar ve Değerlendirme bölümünde yönetimsel çıkarımlara değinilerek gelecek çalışma yönleri ifade edilmiştir.

1. YALIN DÜŞÜNCE

Yalın üretim kavramını tartışmadan önce, bu fikrin nasıl ortaya çıktığını bilmemiz gerekmektedir. 1990 yılında “Dünyayı Değiştiren Makine” (The Machine That Changed the World) isimli eserin yayımlanmasının ardından yalın kavramı yıllar içerisinde önemli bir evrim geçirmiş ve oldukça faydalı bir uygulama olarak kabul görmüştür (Womack vd.. 1990).

1.1. Yalın Kavramı

Yalın kavramı, günümüzde çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve farklı bakış açıları, düşünceleri ve önerileri olan araştırmacılar tarafından çeşitli şekillerde tanımlanmaktadır (Bhamu & Sangwan, 2014). Çoğu araştırmacı yalın kavramını, israfı ortadan kaldırmak amacıyla yararlanılan bir yaklaşım olarak tanımlamaktadır. Yalın kavramı, insan ve süreç faktörleri aracılığıyla, israfı ortadan kaldırarak müşterilere en yüksek değeri sunma yöntemidir (Shah & Ward, 2003). Diğer bazı çalışmalarda yalın kavramı, bir ürünün değer akışı süresince israfın yok edilmesi (Shah & Ward, 2007), tedarik zincirinin değer akışında israfın belirlenmesi ve ortadan kaldırılması (Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013) olarak tanımlanmaktadır. Womack & Jones (1996)’a göre yalın kavramı, beş adımı içeren bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bunlar; ilk adım değeri tanımlamak, ardından değer akışını tanımlamak, onu “akış” haline getirmek, çekmeyi sağlamak ve son adım mükemmellik için çabalamaktır. Bu kavramlar, işletmelerin performanslarını büyük ölçüde geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. Yalın düşünce, değer akışında israfların belirlenmesi ve ortadan kaldırılması için işletmelere önemli bir güç sağlamaktadır.

Yalın düşünce, ikinci dünya savaşı sonrasında Japonya'da ortaya çıkmıştır. Toyota, daha az envanter, yatırım ve kusurla otomobil üretimi gerçekleştirme yoluna girmiş ve giderek artan bir ürün çeşitliliği sunmuştur. Toyota başta olmak üzere bazı Japon otomobil üreticileri servis düzeyi, kalite ve üretkenlik gibi önemli performans alanlarında rakiplerine kıyasla önemli avantajlar elde etmiştir. “Yalın üretim” terimi, “kitle üretimi” yaklaşımının aksine Toyota'nın imalat konusundaki yaklaşımını dikkat çekici bir şekilde tanımlamak amacıyla ortaya atılmıştır (Hines vd., 1999; Taylor & Brunt, 2001). Yalın üretim, maliyetleri düşürerek, üretkenliği ve kaliteyi artırarak

üreticilere rekabet avantajı sağlamaktadır (Bhamu & Sangwan, 2014). Yalın düşünce, minimum atık miktarıyla üretim, sürekli ve kesintisiz akış, bakımlı ekipman ve iyi kurulmuş kalite sistemini içeren çok boyutlu bir yaklaşımdır (Rahani & Al-Ashraf, 2012; Taj & Morosan, 2011). Yalın uygulamalar kalitenin iyileştirilmesi, envanterin en aza indirilmesi, verimliliğin artırılması, akış süresinin iyileştirilmesi ve maliyetin en aza indirilmesi yoluyla operasyon performansını artırmada etkili bir yöntemdir (Khanchanapong vd., 2014; Nawansir vd., 2013).

1.2. Yalın Düşüncede İsrif

İşletmelerde hatalı üretim, gereksiz üretim sonucu fazla stok, boş bekleyen çalışanlar ve ürünlerin gereksiz taşınması gibi değer oluşturmeyen her şey israf olarak tanımlanmaktadır. Yalın felsefenin temeli, yüksek kalite ve düşük üretim maliyetleri elde etmek için olası israf kaynaklarının tespit edilip ortadan kaldırılmasına dayanmaktadır (Rymaszewska, 2014; Shah & Ward, 2003).

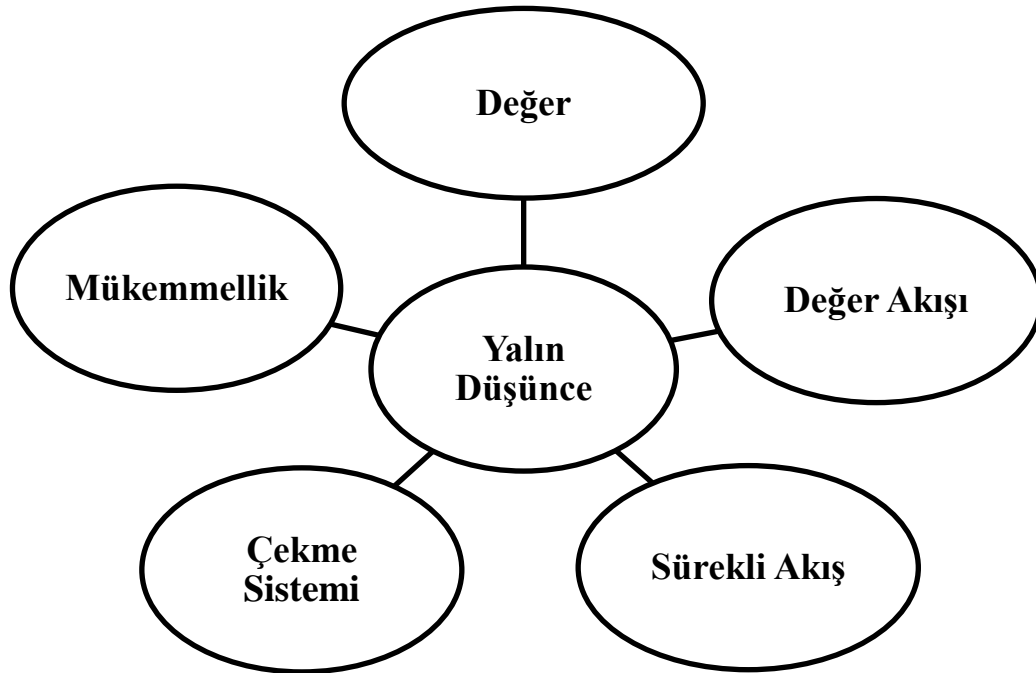
Yalın üretim, israfların organizasyondan uzaklaştırılmasına odaklanmaktadır. Nihai ürüne değer katmayan herhangi bir şey israf olarak tanımlanmaktadır. Yalın uygulamalar ile ortadan kaldırılması gereken yedi israf türü; aşırı üretim, hatalı üretim, aşırı stok, gereksiz işlem, gereksiz taşıma, hareket atıkları ve beklemedir.

Aşırı üretim, kısa sürede müşteri talebini aşan miktarda ürün üretimidir ve stok, fazla depolama alanı, fazladan işgücü ve gereksiz taşımaya neden olabilmektedir. Hatalı üretim, ürünün müşteri beklentilerini tam olarak karşılayamayacak şekilde üretimdir ve yeniden işleme, kontrol, garanti ve onarım gibi sorunlara neden olabilmektedir. Aşırı stok, üretim için gereğinden fazla elde tutulan hammadde, yarı mamul gibi tamamlanmamış her şeyi ifade etmektedir. Gereksiz işlem, müşteri için değer oluşturmeyen, katma değer yaratmayan iş adımlarıdır. Gereksiz taşıma, süreçte malzeme, parça veya ürünü gereksiz yere nakledilmesi işlemidir. Hareket atıkları, çalışma ortamının düzensiz olması nedeniyle parça, form veya araçların aranması gibi amaca hizmet etmeyen hareketlerdir. Bekleme, işlemler arasında veya işlemler sırasında arıza, hammadde-malzeme tükenmesi, dengesiz hat ve bilgi eksikliği gibi nedenlerden kaynaklanan değer oluşturmeyen ve boşa kalınan süreyi ifade etmektedir (Eroglu & Hofer, 2011; Hines & Rich, 1997; Prasad vd., 2016; Rafique vd., 2016). Tüm bu israflar performans, kalite ve maliyetler üzerinde olumsuz bir etki

oluşturmaktadır ve müşterilerin ödeme yapmak istemeyeceği, değer yaratmayan işlemlerdir. İşletmelerde hatalı üretim, gereksiz üretim sonucu fazla stok, boş bekleyen çalışanlar ve ürünlerin gereksiz taşınması gibi değer oluşturmayan her şey israf olarak tanımlanmaktadır.

1.3. Yalın Düşüncenin İlkeleri

Yalın felsefe, organizasyonların performanslarını iyileştirmelerine rehberlik etmektedir. Son tüketici açısından ürün ailesine göre değer belirlenmesi, tüm adımların değer katan adımlara bölünmesi, müşteri için en iyi akışın oluşturulması, israfın yok edilmesi, üretimin müşterinin çekme oranına mümkün olduğunca yakın olarak gerçekleştirilmesi, değer akışının tanımlanması ve sürecin sürekli bir iyileştirme döngüsü içerisinde tekrarlanması yalın düşüncenin temel prensiplerini oluşturmaktadır (Kumar & Kumar, 2012; Shah & Ward, 2007). Womack & Jones (2003)'a göre yalın düşüncenin ilkeleri, değeri tanımlamak, değer akışını tanımlamak, akış prensibi, çekme ve mükemmellik prensibi olmak üzere beş başlık altında incelenmektedir. Şekil 1'de yalın düşüncenin beş ilkesi verilmiştir (Womack & Jones, 2003).



Şekil 1. Yalın Düşüncenin İlkeleri

1.3.1. Değer

Yalın üretim, müşterilerin yalnızca aldıkları ürün veya hizmetlerin değerini ödeyecekleri, hataların/israfların bedelini ödemeyecekleri düşüncesini benimsemektedir (Rawabdeh, 2005).

Bu düşünceye göre israf, kaynakları boşuna tüketen ancak bir parçanın/malzemenin müşteri ihtiyaçlarına dönüştürülmesine katkıda bulunmayan insan faaliyetleridir. Bu nedenle israf değer yaratmaz. Değer ise müşterinin ödeme yapmayı kabul edeceği herhangi bir eylem veya süreçtir; yani, bir ürünün değeri müşteri tarafından belirlenmektedir (Carlborg vd., 2013; Womack & Jones, 1996, 2003).

Değer, yalın üretimin temel taşıdır ve üretici tarafından oluşturulur, ancak müşteri tarafından tanımlanabilir. Bu yüzden ilk adım olarak müşteri talep/istekleri belirlenmeli ve müşterinin ödeme yapmak istemeyeceği her türlü eylem veya süreç ortadan kaldırılmalıdır (Womack & Jones, 1998). Müşteriye veya sektöre göre değişmekle birlikte genel olarak montaj, kesme, boyama, kaynak gibi ürüne katkı sağlayan faaliyetler değer olarak; taşıma, sayma, stoklama gibi ürüne katkı sağlamayıp müşterinin ödeme yapmak istemeyeceği faaliyetler israf olarak tanımlanmaktadır. İşlemlerde veya süreçte müşteriye sunulan değer açık bir şekilde belirlenmesi israfın ortaya çıkarılması ve yok edilebilmesi açısından önem arz etmektedir.

1.3.2. Değer Akışı

Değer akışı yalın üretimin ikinci ögesidir ve her bir adımın değer oluşturduğundan emin olmak amacıyla değer akışının belirlenmesini içerir. Değer akışında müşteri değeri referans olarak kullanılır ve bu değere katkı sağlayan tüm faaliyetler belirlenir. Bu adımda değer oluşturan ve değer oluşturmeyen faaliyetler tespit edilir. Ayrıca üretimde, ürün üzerinde hazırlık, ayar yapma gibi doğrudan değer oluşturmeyen fakat süreci tamamlayabilmek için yapılması zorunlu işlemler de bulunmaktadır. Yalın düşünceye göre, değer oluşturmeyen faaliyetlerin yok edilmesi veya en aza indirilmesi gerekmektedir (Çelenk vd., 2019).

1.3.3. Sürekli Akış

Değerin tanımlanması ve değer akışının oluşturulmasından sonraki aşama olan sürekli akışın sağlanması, organizasyonlarda süreçlerin yeniden düzenlenerek ürünlerin değer yaratan adımlarda sorunsuz bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır (Čiarnienė & Vienažindienė, 2012). Organizasyonda değer tanımlanmasıyla israf kaynakları ortadan kaldırılmalıdır. İsrafın ortadan kaldırılması, ürün veya hizmetin herhangi bir kesinti, sapma veya bekleme olmaksızın müşteriye akmasını sağlayacaktır (Jones & Womack, 2016).

1.3.4. Çekme Sistemi

Organizasyonlar, ürünlerini müşterilere doğru itmek yerine değer sonraki adımda yer alan müşteri tarafından çekilmesine müsaade etmelidir. Çekme prensibinde başlama noktası müşteri talepleridir ve tüm adımların geriye doğru izlenerek her adımın bir önceki adımdan talebiyle üretime başlanması düşüncesiyle uygulanmaktadır (Şeker, 2016). Bu prensibin benimsenmesi, üretimin talep doğrultusunda gerçekleştirilmesi nedeniyle stokları olumlu yönde etkilemektedir.

1.3.5. Mükemmellik

Mükemmellik, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak ve süreci sıfır hata doğrultusunda iyileştirmek için sürekli çaba göstermeyi gerektirmektedir. Bu noktada sıfır hata terimi, sadece kusursuz ürün üretimini değil, sürecin tüm işlevlerini kapsamaktadır. Akış ve çekme oluşturma, süreç adımlarını temelden yeniden düzenlemekle başlar. İsfraf unsurları ortaya çıkarılıp elimine edildikçe süreç, her faaliyetin nihai müşteri için değer kattığı teorik mükemmellik noktasına doğru ilerler. Yalın düşüncenin beş temel ilkesinin (Değer, Değer Akışı, Sürekli Akış, Çekme ve Mükemmellik) uygulanması işletmenin, süreçlerini değer oluşturma amacıyla sürekli gözden geçirerek genel organizasyon stratejisine doğru ilerlemesini sağlayacaktır (Čiarnienė & Vienažindienė, 2012).

1.4. Yalın Üretim

Yalın üretim, bekleme süresini, parti boyutlarını ve hazırlık sürelerini en aza indirerek israfı ortadan kaldırmayı ve süreçleri iyileştirmeyi hedefleyen bir anlayıştır (Chen vd., 2013). Yalın üretim anlayışı, işletmelerin tedarik zinciri, tasarım, üretim gibi süreçlerinde yer alan her türlü israfın belirlenerek ortadan kaldırılması/azaltılması üzerinde durmaktadır. Yalın üretimin temel hedefi, israfların ortadan kaldırılmasıyla operasyonel verimliliği artırmak ve değer katmayan faaliyetlerin yok edilmesiyle maliyetleri azaltmaktır (Moyano-Fuentes & Sacristán-Díaz, 2012; Shah & Ward, 2003). Yalın üretim, yalnızca gelişmiş ekonomilerde değil, gelişmekte olan ekonomilerde de işletmeler tarafından maliyetlerini, kalitelerini ve performanslarını iyileştirmek amacıyla yaygın olarak uygulanmaktadır (Sharma vd., 2016). Küresel rekabet, belirsiz talep ortamı ve her geçen gün artan tüketici beklentileri işletmelerin yalın üretim gibi iyileştirme araçlarını benimsemesini sağlayan faktörler arasında yer almaktadır (Goshime vd., 2019).

İşletmelerde yalın üretim uygulaması israfların belirlenmesiyle başlamaktadır. İşletmede bulunan israflar farklı türlerde olabilmektedir. Bu nedenle israf türlerinin ve nedenlerinin tanımlanması gerekmektedir. Yalın üretim, nedenleri ele almaya ve sorunları kalıcı olarak iyileştirmeye odaklanmaktadır. Bu noktada yalın üretim araçları ve çeşitli tekniklerden yararlanılabilmektedir. Uygulamada bir sonraki adımda, kök nedenlere çözüm üretilir ve çözümün tüm sistem üzerindeki etkileri belirlenir. Yalın uygulama sürecinde son adımda, çözümler test edilir ve uygulamalarına geçilir. Yukarıda kısaca açıklanan yalın uygulamanın her adımında eğitim ve takip önemli yer tutmaktadır (Gupta & Jain, 2013).

1.5. Yalın Üretimin Faydaları

Yalın üretim, en düşük maliyetle ve müşteri talebini karşılayacak hızda ürün ve hizmet üretmeyi amaçlamaktadır. Yalın üretim maliyetleri azaltarak, üretkenlik ve kaliteyi artırarak üreticilere önemli rekabet avantajı sağlamaktadır. Yalın üretimde, israfların ortadan kaldırılarak müşteri değerinin oluşturulması müşteri memnuniyeti sağlamaktadır. İsrafın ortadan kaldırılması amacıyla süreçlerde gerçekleştirilen iyileştirmeler ise verimliliği arttırmaktadır. Süreç iyileştirme girişimlerinin bir sonucu

olarak da ürün kalitesinde artış meydana gelmektedir (Holweg, 2007; Sim & Rogers, 2009).

Yalın üretimin faydalarını, nicel ve nitel faydalar olarak iki başlık altında incelemek mümkündür. Nicel faydalara; üretim akış, işlem ve çevrim sürelerinde, stoklarda, kusurlarda, hurda ürünlerde ve ekipmanların etkin kullanımında iyileşme örnek olarak gösterilebilir. Nitel faydalara ise; çalışan moral ve motivasyonlarında artış, etkili iletişim, iş tatmini ve takım kararları gibi örnekler verilebilir (Bhamu & Sangwan, 2014). Yalın üretimin uygulanması yerel ve uluslararası pazarlarda işletmelere rekabet gücü sağlamaktadır, yeni istihdam fırsatları oluşturmaktadır ve teknolojik yeterlilik seviyesine katkıda bulunmaktadır (Zahraee, 2016).

Sonuç olarak yalın üretim uygulamaları işletmelere, artan işgücü üretkenliği ve darboğazların ortadan kaldırılması ile maliyetlerin azaltılması, azalan çevrim süresi ve işlem süresi ile teslim süresinin iyileştirilmesi, israfların azaltılması, azalan boş bekleme süreleri ile üretkenliğin artırılması, stokların iyileştirilmesi, çalışanların yeteneklerinin geliştirilmesi, ekipmanların daha etkin kullanımı ve kusurların azaltılması gibi alanlarda yardımcı olabilmektedir (Burton, 2014; Melton, 2005).

1.6. Yalın Üretimde Yararlanılan Bazı Araçlar

Yalın felsefe ve yalın ilkeler kapsamında çok çeşitli araçlardan veya tekniklerden faydalanılmaktadır. Bunlardan bazıları, tam zamanında üretim, kanban, kaizen, toplam üretken bakım, iş rotasyonu, 5S, Poka-Yoke, Jidoka, SMED (Tekli Dakikalarda Model Değişimi) ve değer akış haritalamadır (Bhamu & Sangwan, 2014; Sezen vd., 2012).

Tam zamanında üretim (JIT), sistemdeki her türlü israfı belirleyip ortadan kaldırmaya odaklanan ve sürekli iyileştirme gerektiren bir üretim felsefesidir. Bu anlayışta, değer katmayan faaliyetler belirlenir ve ortadan kaldırılır. Bu da maliyetlerin azalması, verimlilik artışı, kalite iyileşmesi, teslim zamanında iyileşme ve sonuç olarak da müşteri memnuniyetinde artış ile sonuçlanmaktadır (Kumar & Kumar, 2012).

Kanban, bir üretim hattındaki iş istasyonları arasındaki malzeme hareketlerinin kartlara dayandırıldığı basit bir parça hareket sistemidir. Kanban düzenli malzeme akışı sürdürmek için başvurulan bir yöntemdir. Malzeme sipariş noktalarını, ne kadar

malzemeye ihtiyaç duyulduğunu, malzemenin nereden sipariş edildiğini ve nereye teslim edilmesi gerektiğini belirtmek amacıyla kanban kartlarından yararlanılmaktadır. Kanban kartlarında ürün kodu ve ismi, depolama yeri gibi bilgiler yer almaktadır. Kanban sistemi ile sıfır stok ve malzeme gereksinimlerinin tam zamanında ve istenilen yerde karşılanması amaçlanmaktadır (Çanakçıoğlu, 2019). Kanban sistemi, işletmelerde daha iyi bir ürün akışı sağlamada son derece önemli bir rol üstlenmektedir (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

Kaizen, sürekli iyileştirme anlamında kullanılan Japonca bir terimdir. Kaizen ister yöneticiler ister çalışanlar olsun, kuruluştaki herkesin sürekli katılımını gerektirmektedir. İmalat işletmelerinde kaizen makinelerde, işçilikte veya üretim yöntemlerinde israfları belirleme ve uzaklaştırma, anlamına kullanılmaktadır. “Kai” değişim, “Zen” ise daha iyiyi ifade etmektedir. Kaizen işletmedeki her bir kişiyi dahil ederek daha iyisi için sürekli değişmek anlamına gelmektedir (Singh & Singh, 2009). Chandrasekaran vd. (2008), çalışmalarında bir otomobil firmasının montaj hattı parça uyumsuzluğu sorununa çözüm bulmak amacıyla kaizen yaklaşımından yararlanmıştır. Kaizen uygulaması sonrası rapor edilen çeşitli faydalar; kalitesizlik, hurda, yeniden işleme gibi israfların tamamen ortadan kaldırılması ve önemli miktarda tasarruf sağlanmasıdır.

Toplam üretken bakım, proaktif ve kademeli bakım metodolojilerinden yararlanmaktadır ve makine performansını optimize etmek için operatörlerin, ekipman sağlayıcılarının, mühendisliğin ve destek personelinin bilgi ve iş birliğine gereksinim duymaktadır (Kilpatrick, 2003). Toplam üretken bakım, ekipman etkinliğini en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Toplam üretken bakım anlayışının işletmeye sağlayacağı faydalar arasında arızaların ortadan kaldırılması, hataların ve kazaların azaltılması, süreçlerin ve ekipmanların iyileştirilmesi, daha yüksek verim ve daha iyi ürün kalitesi yer almaktadır. Bu da daha düşük işletme maliyetleri, daha uzun ekipman ömrü ve daha düşük genel bakım maliyetleri gibi avantajlar sağlamaktadır (Ahuja & Khamba, 2008; Shirose, 1995).

Yalın üretim, beklenmedik işgücü sıkıntılarına ve talep dalgalanmalarına karşı çalışanların farklı işler arasında rotasyonunu desteklemektedir. Bu yolla çalışanlar hem bilgilerini artıracak hem de ilgili ve motive olmuş hissedeceklerdir (Allwood & Lee, 2004). İş rotasyonu çalışanların yalnızca farklı bir görevi öğrenmesini sağlamakla

kalmayıp, aynı zamanda onlara üretim sürecine dair genel bir bakış kazandırmaktadır (Ebeling & Lee, 1994).

5S, kaliteli bir çalışma ortamı oluşturulması ve sürekliliğinin sağlanması üzerine bir metodolojidir. Bir Japon yönetim yaklaşımı olan 5S, adını seiri (toparlama), seiton (düzen), seiso (temizlik), seiketsu (standartlaşma) ve shitsuke (disiplin) kelimelerinden almaktadır (Abdulmaged, 2009). 5S programının sonuçlarından bazıları; güvenlik seviyelerindeki artış, çalışma alanının temizlenmesi, verimlilik artışı ve önleyici bakımdır (Kumar vd., 2006).

Poka-Yoke (Hata-Önleme), temel olarak insan hatalarını önlemenin bir yöntemidir (Dudek-Burlikowska & Szewieczek, 2009). Poka-Yoke sistemindeki temel prensip, hataların suçlusu olarak çalışanları değil süreçleri suçlamaktır. Poka-Yoke, süreçteki herhangi bir hatayı önlemek için tasarlanmıştır. Poka-Yoke ile ulaşılabilecek bazı sonuçlar; çalışanların eğitimi için gereken sürenin kısalması, birçok kalite kontrol işleminin ortadan kaldırılması ve kusur sayısının azalmasıdır (Rewers vd., 2016).

Jidoka kavramı, üretim sırasında bir arıza veya problem ortaya çıktığında süreç akışının durdurulma yeteneğini ifade etmektedir (Salem vd., 2006). Sorunlar, ürün kalitesiyle ilgili olabileceği gibi malzeme, ekipman eksiklikleri nedeniyle üretim sürecindeki gecikmeler de olabilir. Operatörün ortaya çıkan anormallikleri tespit etme ve süreci durdurma yeteneği daha verimli bir üretim süreci sağlamaktadır (Çanakçıoğlu, 2019; Rewers vd., 2016).

SMED metodolojisi, kurulum sürelerinin kısaltılması ve geçiş işlemlerinde belirlenen israfların ortadan kaldırılmasında destek sağlayan bir yalın araçtır. SMED, kurulum işlemlerinin on dakikadan daha kısa sürede yürütülmesini sağlayan bir dizi teknikten oluşmaktadır (Dillon & Shingo, 1985). Dillon & Shingo (1985), kurulum işlemlerini, yalnızca makine durdurulduğunda gerçekleştirilebilen iç ayar işlemleri ve makine çalışırken gerçekleştirilebilen dış ayar işlemleri olarak ikiye ayırmıştır.

Değer akış haritalama, iş akışını analiz etmeye ve nihai ürün üzerinde katma değer oluşturan ve oluşturmeyen faaliyetleri belirlemeye yardımcı olan bir tür grafiksel araçtır. Değer akış haritalama uygulamaları ile üretim akış süresinde iyileşme, bekleme süresinde azalma, stoklarda iyileşme ve çeşitli israf kaynaklarında azalma sağlamak mümkündür (Goriwondo vd., 2011; Pattanaik & Sharma, 2009; Rother & Shook, 1999; Singh vd., 2010).

Takip eden bölümde (Bölüm 2’de) bu tezde üzerine durulan yalın düşünce araçlarından değer akış haritalama tekniği detaylandırılmıştır.

2. DEĞER AKIŞ HARİTALAMA

Değer akış haritalama, değer zinciri boyunca bilgi ve malzeme akışının görselleştirilmesini ve anlaşılmasını sağlayan, yaygın uygulama alanına sahip yalın üretim araçlarından birisidir (Lacerda vd., 2016). Değer akış haritalama, katma değer oluşturan faaliyetleri belirleyerek ve israfları ortadan kaldırarak yalın üretim sürecini kolaylaştıran görsel bir araç niteliğindedir (Seth vd., 2017). Değer akış haritalama, organizasyonun mevcut durumunu haritalamak, israfları ortadan kaldırma fırsatlarını belirlemek ve iyileştirme uygulamalarına karar vermek amacıyla kullanılan grafiksel bir araç olarak tanımlanabilir (Pavnaskar vd., 2003). Diğer bir deyişle, değer akış haritalama, süreçte değeri artırmak amacıyla sürekli olarak israfların ortadan kaldırılması hedefini takip etmektedir. Böylece, organizasyonlar değer akış haritalamayı uygulayarak operasyonel kayıpları belirleyebilecek ve bu kayıpları ortadan kaldırarak müşteri için daha fazla değer yaratmaya doğru ilerleyebileceklerdir.

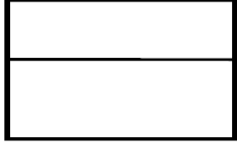
Değer akışı, müşterilere ürün veya hizmet sunmak için gerekli olan ve sürecin temel akışı boyunca ihtiyaç duyulan, katma değer oluşturan ve oluşturmayan faaliyetler olarak tanımlanmaktadır. Bu faaliyetler, hammaddeden ürün teslimatına kadar olan tüm faaliyetleri kapsamaktadır (Rother & Shook, 1999). Değer akış haritalama, israf kaynaklarının belirlenmesi ve ortadan kaldırılması amacıyla kullanılacak yalın araçları keşfetmeye ve karar vermeye yardımcı bir araçtır (Stadnicka & Litwin, 2019; Tyagi vd., 2015). Değer akış haritalama, stratejik planlama için kullanışlı bir araçtır ve sürecin güçlü ve zayıf yönlerini keşfetmeye yardımcı olmaktadır. Yöntemin tüm adımlarında “müşteri açısından nihai ürüne değer katıyor mu?” sorusu sorularak her adımın performans etkinliğini veya ürün kalitesini artırması gerektiğine işaret etmektedir. Bu noktada, faaliyetler üç gruba ayrılabilir: ilk olarak katma değer oluşturan faaliyetler, ikinci katma değer oluşturmayan ancak kaçınılmaz faaliyetler ve son olarak katma değer oluşturmayan faaliyetler (Dadashnejad & Valmohammadi, 2019). Bir sürecin iyileştirilmesini temel alan değer akış haritalama yöntemi, teslim süresinde ve kalitede iyileşme, üretkenlikte artış, kusurlar, gereksiz envanter ve gereksiz hareketlerde azalma gibi avantajlar sağlamaktadır (Goriwondo vd., 2011; Singh vd., 2010; Wang vd., 2020).

2.1. Değer Akış Haritalama Süreci Sembolleri

Mevcut ve gelecek durum haritasının oluşturulmasında yararlanılan birtakım bileşenler bulunmaktadır. Aşağıda değer akış haritalama sürecinde yararlanılan temel bileşenler ve açıklamaları yer almaktadır (Rother & Shook, 1999).



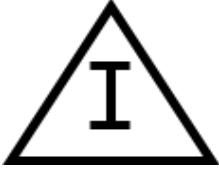
Dış kaynaklar (Müşteri/Tedarikçi) simgesi sol üst taraftayken malzeme için olağan başlangıç noktası tedarikçiyi, sağ üst taraftayken malzeme için olağan bitiş noktası müşteriyi temsil etmektedir.



Süreç akışı simgesi malzemenin geçtiği bir süreç, işlem, makine veya bölümü temsil eder.



Operatör simgesi bir operatörün veya çalışanın gerekli olduğu yeri gösterir. Operatörler normalde değer akışı haritasında gösterilmez, ancak açıklık kazandırmak için tanımlanması gereken yerlerde bu sembol kullanılabilir.



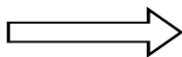
Envanter simgesi iki işlem arasındaki envanteri gösterir. Stok miktarı ve bulundurma süresi sembolün altına not edilmelidir.



Bilgi kutusu simgesi, sistemi analiz etmek ve gözlemek amacıyla gerekli olan bilgileri kaydetmek için kullanılır. İçerisine çevrim zamanı, hazırlık süresi, çalışma süresi ve operatör sayısı gibi bilgiler yazılmaktadır.



İtme oku simgesi malzemenin bir işlemden diğerine itilmesini temsil eder.



Sevkiyat simgesi, hammaddenin tedarikçilerden fabrikaya hareketini ya da bitmiş ürünün fabrikanın nakliye alanından müşteriye taşınmasını temsil eder.



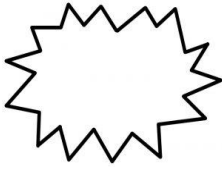
Kamyonla sevkiyat simgesi, kamyonla tedarikçilerden gelen sevkiyatı veya müşterilere yapılan gönderileri temsil etmektedir.



Fabrika içerisinde malzeme taşıma işlemlerinin fork-lift ile yapıldığını belirtir.



Zaman çizelgesi simgesi katma değer oluşturan ve oluşturmeyan faaliyet sürelerini gösterir. Üretim akış süresi ve işlem süresini hesaplamak için kullanılmaktadır.



Kaizen flaşı iyileştirme ihtiyaçlarını vurgulamak ve gelecek durum haritasına ulaşmak amacıyla kritik olan belirli süreçlerde planlamalar yapmak için kullanılır.



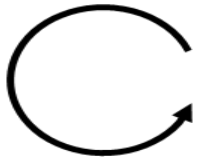
Manuel bilgi akışı simgesi notlar, raporlar veya konuşmalardan gelen genel bilgi akışını ifade eder.



Elektronik bilgi akışı simgesi internet, yerel alan ağı, geniş alan ağı gibi elektronik bilgi akışını temsil eder.



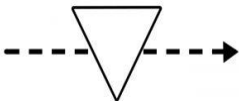
Kanban kutusu simgesi Kanban kartlarının bulundurulduğu alanı ifade eder.



Fiziksel çekme simgesi malzemelerin çekildiğini ifade etmektedir.



İlk giren ilk çıkar istasyonu simgesidir ve işlemler arasında "ilk giren ilk çıkar" akışını belirtmek için kullanılır.



Sinyal Kanbanı simgesi iki işlem arasındaki envanter seviyesi minimum düzeye düştüğünde kullanılır.



Üretim Kanbanı simgesi önceden tanımlanmış sayıda parçanın üretimini tetikler.



Yük dengeleme simgesi üretim çeşitliliğini ve hacmini dengelemek için Kanbanları gruplandıran bir araçtır.

2.2. Değer Akış Haritalamanın Aşamaları

Değer akış haritalamanın genel faydalarından birisi süreci etkin bir şekilde görsel hale getirmesidir ve bu sayede süreçle ilgili ortak bir dilde konuşulmasını sağlamasıdır. Malzeme akışı, ürüne adım adım nasıl değer eklendiğini ve her adımda hangi bilgilerin sağlandığını gösteren haritalama sembolleri kullanılarak gösterilmektedir (Rother & Shook, 1999).

Değer akış haritalama, değer ve israfların analizi için dört aşamalı bir prosedürle uygulanabilmektedir (Rother & Shook, 1999; Tapping & Shuker, 2003):

- Ürün ailesinin seçilmesi
- Mevcut durum haritasının oluşturulması
- Gelecek durum haritasının oluşturulması
- İş planı ve uygulama

Ürün ailesinin seçilmesi değer akış haritalama uygulamasının ilk adımını oluşturmaktadır. Bu adımda yalnızca bir ürün ailesine odaklanılmalıdır. Birden çok ürün ailesinin bir haritada gösterilmesi karışıklıklara neden olabilmektedir. İşletmede birden çok ürün üretiminin gerçekleştirilmesi ürün ailesinin seçilmesini zorlaştırabilmektedir. Bu durumda, ürünlerin geçtiği adımları görsel olarak ifade eden ve böylelikle seçimi kolaylaştıran çeşitli matrislerden yararlanılmaktadır (Rother & Shook, 1999). Ürün ailesi seçiminden sonra, gerekli bilgiler toplanılarak haritalama aşamasına geçilir. İkinci adım olan mevcut durum haritasının oluşturulması ile faaliyetlerin nasıl gerçekleştirildiğine dair anlık bir görüntü alınır. Mevcut durum haritasının oluşturulmasında standart değer akış haritalama sembollerinden yararlanılmaktadır. Bu adımda israf kaynakları ve süreçte değer oluşturan-oluşturmeyen faaliyetler tespit edilmektedir (Barber & Tietje, 2008). Sonraki adım, faaliyetlerin nasıl yapılması gerektiğini, değerlerin nasıl artırılabileceğini ve gelecekteki operasyonlarda israfın nasıl ortadan kaldırılabilceğini göstermek amacıyla gerçekleştirilen gelecek durum haritasının oluşturulmasıdır (Lin, 2004). Son adımda, gelecek duruma ulaşmak amacıyla gerçekleştirilecek iyileştirmelere ilişkin planlar

hazırlanır ve eyleme geçilir. Braglia vd (2006), değer akış haritalama analizi gerçekleştirmek amacıyla adım adım bir prosedür özetlemişlerdir. Rother & Shook (1999)'a dayanarak, ilk adım, iyileştirme hedefi olarak bir ürün ailesinin seçilmesinden başlamaktadır. İkinci adım, seçilen ürünün değer akışı için mevcut durum haritasının oluşturulmasıdır. Bir sonraki adım, değer akışı boyunca israfın belirlenmesi ve analiz edilmesidir. Son adım ise, gelecek durum haritasının ideal üretim sürecini temsil edecek şekilde çizilmesidir.

2.3. Değer Akış Haritalama Yönteminin Faydaları

Değer akış haritalama, diğer değer zinciri haritalama tekniklerine kıyasla çeşitli avantajlara sahiptir. Değer akış haritalama, bireysel faaliyetlere odaklanmak yerine tüm değer zincirini görüntülemeyi ve süreçteki israf kaynaklarını tanımlamayı sağlar (Rother & Harris, 2001). Değer akış haritası, herhangi bir üretim veya idari süreç için hem malzeme hem de bilgi akışını görselleştirmek için kullanılan, bilgi akışı ile malzeme akışı arasındaki bağlantıyı görmeye yarayan güçlü bir araçtır. Değer akış haritalama, kullanıcıya malzeme ve bilgi akışını aynı haritada görme kolaylığı sağlar. Haritalama yöntemi, ortaya çıkan iyileştirmeleri gerçekleştirmek amacıyla yalnız kavramları/teknikleri birbirine entegre eder ve işletmelerin gelecek durum haritası için gerekli iyileştirme faaliyetlerine öncelik vermesini sağlar. Üretimin yalnızca tek bir süreç düzeyinde değil, tesis düzeyinde görselleştirilmesine yardımcı olur (Lin, 2004). Değer Akışı Haritalama yöntemi ile iş süreçleri kolaylaştırılabilir, teslim ve çevrim süreleri kısaltılabilir, değer katan süre arttırılabilir, değer katmayan süre azaltılabilir, kusurlar iyileştirilebilir ve maliyetler azaltılabilir (Alzubi vd., 2019; Heravi & Firoozi, 2017; Mishra vd., 2019; Shou vd., 2017).

2.4. İlgili Çalışmalar

Literatürde daha önce gerçekleştirilmiş çalışmaları gözden geçirerek çeşitli değer akış haritalama uygulamalarının güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek ve bu uygulamaların başarılı yönlerinden istifade etmek veya yetersiz yönlerinden kaçınmak mümkün olabilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde değer akış haritalama yönteminin çeşitli üretim sistemlerinde, nasıl uygulandığı ve diğer bazı yöntemler ile nasıl

değerlendirildiği üzerinde durulmaktadır. Tablo 1’de değer akış haritalama üzerine gerçekleştirilen bazı çalışmaların özellikleri yer almaktadır.

Literatür taraması için “Değer Akış Haritalama (Value Stream Mapping)” anahtar kelimesi ile Web of science ve Dergipark platformlarında ulaşılan araştırma makaleleri kullanılmıştır. Tarama, 2017-2021 yıllarında yayınlanan güncel çalışmaları ve onların kaynaklarından elde edilen ilgili araştırmaları kapsamaktadır.

Tablo 1. Literatür Özeti: Değer Akış Haritalama Çalışmalarının Özellikleri

Yıl	Yazar	Çalışma Konusu	Uygulama alanı	Bulgular
2011	Acharyaa	Malzeme elleçleme operasyonundaki iyileştirme kapsamını belirlemek amacıyla değer akış haritalama uygulaması	Malzeme elleçleme	<ul style="list-style-type: none">• Çevrim süresi, mesafe ve insan gücü gereksiniminde azalma
2012	Belokar vd.	İsrafı ortadan kaldırmak, operasyonel performansı ve verimliliği arttırmak amacıyla değer akış haritalama uygulaması	Otomotiv sektörü	<ul style="list-style-type: none">• Takt zamanında iyileşme
2013	Vlachos & Bogdanovic	Küçük ve orta ölçekli otellerde israf yönetimindeki yalın uygulamaları değerlendirmek.	Otel endüstrisi	<ul style="list-style-type: none">• Değer akış haritalama yaklaşımlarının israfların tespit edilmesi ve ortadan kaldırılması yolunda önemli katkılar sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır
2015	Kurdve vd.	<ul style="list-style-type: none">• Atık yönetimi tedarik zinciri• Değer akış haritalama gibi yalın üretim araçlarını daha çevreci üretim ve malzeme akışı stratejileriyle entegre etmek	Atık yönetimi	<ul style="list-style-type: none">• Atık yönetimi sürecinin analizi, değer kaybının tespit edilmesi ve sürdürülebilir iyileştirme potansiyellerinin belirlenmesi yolunda daha işlevsel bir yöntem sağlanmıştır
2015	Mohanraj vd.	Bulanık kalite fonksiyon göçerimi ile entegre bir değer akış haritalama uygulaması.	Eksantrik mili üretimi	<ul style="list-style-type: none">• Çevrim süresinde iyileşme
2015	Tyagi vd.	Ürün geliştirme sürecinde israfları, verimsizlikleri, katma değersiz adımları belirlemek için değer akış haritalama uygulaması	Ürün geliştirme	<ul style="list-style-type: none">• Teslim zamanında iyileşme
2017	Guner Goren	Mobilya üretim sürecinde değer akış haritalama ve simülasyon uygulaması	Mobilya sektörü	<ul style="list-style-type: none">• Toplam akış süresinde iyileşme• Katma değer oluşturmaya sürede azalma
2017	Heravi & Firoozi	Çelik çerçeve üretiminde değer akış haritalama ve ayırık olay simülasyonu uygulaması	Çelik çerçeve üretimi	<ul style="list-style-type: none">• Teslim süresinde ve maliyetlerde iyileşme

Tablo 1. Literatür Özeti: Değer Akış Haritalama Çalışmalarının Özellikleri (Devamı)

Yıl	Yazar	Çalışma Konusu	Uygulama alanı	Bulgular
2017	Jia vd.	İşleme sürecinde Therblig-değer akış haritalama (T-DAH) uygulaması	Tornalama, frezeleme gibi işleme süreçleri	<ul style="list-style-type: none">• Toplam enerji talebinde azalma• Katma değer oluşturan faaliyet sürelerinde iyileşme
2017	Yuvamitra vd.	Halat imalatında değer akış haritalama uygulaması	Halat imalatı	<ul style="list-style-type: none">• İsrafların ortadan kaldırılması ve yapısal bir revizyon uygulanması sonucunda üretim sürecinin daha verimli hale geldiği gözlenmiştir
2018	Sarı	Otomotiv yan sanayiinde değer akış haritalama uygulaması	Otomotiv yan sanayii (Cıvata üretimi)	<ul style="list-style-type: none">• İsrafların yok edilmesinin işletmeye, stok ve maliyetlerin azalması ve kalitenin iyileşmesi gibi faydalar sağlayacağı belirlenmiştir
2019	Alzubi vd.	Ahşap mobilya üretim sürecinde değer akış haritalama ve ayırık olay simülasyon uygulaması	Ahşap mobilya üretim süreci	<ul style="list-style-type: none">• Değer katmayan sürede iyileşme
2019	Başak vd.	Kondenser ve metal parça üretiminde değer akış haritalama uygulaması	Kondenser ve metal parça üretimi	<ul style="list-style-type: none">• Kanban ve SMED yöntemlerinden yararlanma• İşlem süresinde iyileşme
2019	Dadashnejad & Valmohammadi	Gaz küresel vana üretim sürecinde değer akış haritalama uygulaması ve iyileştirme fırsatlarının genel ekipman verimliliği üzerindeki etkisinin incelenmesi	Gaz küresel vana üretim süreci	<ul style="list-style-type: none">• Değer akış haritalama yönteminin ekipman ve makinelerin verimliliğini ve etkinliğini artırmak için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır
2019	Guo vd.	Değer akış haritalamanın DMAIC (tanımla-ölçme-analiz-iyileştirme-kontrol) modeli ile entegrasyonu	Klima montaj hattı	<ul style="list-style-type: none">• Değer akış haritalama-DMAIC modelinin israfları azaltma ve ekonomik fayda sağlamada etkili bir yaklaşım olduğu belirlenmiştir
2019	Mishra vd.	Kaput üretim sürecinde değer akış haritalama ve simülasyon uygulaması	Kaput üretimi	<ul style="list-style-type: none">• Çevrim süresinde iyileşme

Tablo 1. Literatür Özeti: Değer Akış Haritalama Çalışmalarının Özellikleri (Devamı)

Yıl	Yazar	Çalışma Konusu	Uygulama alanı	Bulgular
2019	Muñoz-Villamizar vd.	Çevresel verimliliğin üretkenlikle entegrasyonuna yönelik yeni bir değer akışı haritalama yaklaşımı uygulaması	Otomotiv sektörü	<ul style="list-style-type: none">• Çevresel uygulamaların üretkenlik üzerinde doğrudan bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır
2019	Munyai vd.	Çelik şaft imalatında israfların ve darboğazların incelemesi amacıyla değer akış haritalama ve simülasyon yöntemlerinin uygulanması	Çelik şaft imalatı	<ul style="list-style-type: none">• Darboğaz oluşturan testere ve freze istasyonlarındaki stratejik müdahaleler sonucunda iş hacminde iyileşme sağlanmıştır
2019	Ramani & KSD	İnşaat yönetiminde maliyetleri azaltmak amacıyla yalın tekniklerin (değer akış haritalama) uygulanması	İnşaat sektörü	<ul style="list-style-type: none">• Üretkenlikte artış
2019	Turan	Otomotiv yan sanayii alanında değer akış haritalama ve bulanık analitik hiyerarşi süreci uygulaması	Otomotiv yan sanayi (Krank mili üretimi)	<ul style="list-style-type: none">• İnsan kaynaklarının daha etkin kullanımı• İsrafların yok edilmesi
2019	Vilventhan vd.	İnşaat sektörü yıkım atığı yönetiminde değer akış haritalama uygulaması	İnşaat sektörü (Atık yönetimi)	<ul style="list-style-type: none">• Önerilen yaklaşımın, inşaat atığı oluşumunun sistematik olarak tanımlanmasına, değerlendirilmesine ve en aza indirilmesine katkı sağladığı belirlenmiştir
2020	Akın	Tekstil sektöründe değer akış haritalama uygulaması	Tekstil sektörü (Yatak üretimi)	<ul style="list-style-type: none">• Uygulamalar sonucunda haftalık üretim miktarında adet bazında yaklaşık 150 adet artış sağlanabileceği tespit edilmiştir
2020	Aouag vd.	Üretim süreçlerinin ekonomik ve çevresel performanslarını iyileştirmek amacıyla değer akış haritalama, DEMATEL ve bulanık kalite fonksiyon göçerimi yöntemleri entegrasyonu	Gaz tüpü üretimi	<ul style="list-style-type: none">• Genişletilmiş değer akış haritalama uygulaması ile üretim süreçlerinin çevresel ve ekonomik performanslarının değerlendirilmesine ve kontrol edilmesine katkı sağlanmıştır

Tablo 1. Literatür Özeti: Değer Akış Haritalama Çalışmalarının Özellikleri (Devamı)

Yıl	Yazar	Çalışma Konusu	Uygulama alanı	Bulgular
2020	Liu & Yang	Değer akış haritalamanın simülasyon ve gri Taguchi yöntemiyle entegrasyonu	Ayakkabı imalatı	<ul style="list-style-type: none">• Kusur oranı ve teslim süresinde iyileşme
2020	Luz vd.	Değer akışlarını stokastik olarak analiz etmek amacıyla değer akış haritalama ve Monte Carlo simülasyonu yöntemlerinin entegrasyonu	Hastane	<ul style="list-style-type: none">• Teslimat süresinin daha gerçekçi olacak şekilde belirlenmesi
2020	Midilli & Eleveli	Filtre üretim sürecinde simülasyon ve değer akış haritalama uygulaması	Filtre (Tütün) üretim süreci	<ul style="list-style-type: none">• Stok seviyesinde iyileşme
2020	Singh vd.	Gıda sektöründe endüstriyel operasyonların yönetiminde değer akış haritalama ve altı sigma uygulaması	Gıda sektörü	<ul style="list-style-type: none">• Teslim süresinde, işlem süresinde ve malzeme hareket israfında iyileşme
2020	Suhardi vd.	Tekstil ürünleri endüstrisinde değer akış haritalama ve israf değerlendirme modeli uygulaması	Tekstil sektörü	<ul style="list-style-type: none">• Gereksiz hareketin en baskın israf türü olduğunu sonucuna ulaşılmıştır• Katma değerli olmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılması ile üretim süresinin iyileştirilmesi mümkün olmuştur
2020	Wang vd.	Beton bileşen üretim sürecinde değer akış haritalama uygulaması	Beton bileşen üretim süreci	<ul style="list-style-type: none">• Üretim hattının denge oranında iyileşme• Katma değer oluşturan süre oranında artış• Gerekli işgücü sayısında ve envanterde azalma

Tablo 1. Literatür Özeti: Değer Akış Haritalama Çalışmalarının Özellikleri (Devamı)

Yıl	Yazar	Çalışma Konusu	Uygulama alanı	Bulgular
2020	Zhu vd.	Organizasyonların karşılaştığı çevresel zorluklarla karşı modifiye bir değer akış haritalama uygulaması	Metal bileşen üretimi	<ul style="list-style-type: none">• Önerilen yaklaşımın vaka çalışmasında ele alınan firmanın ekonomik ve sürdürülebilir performansının geliştirilmesine katkıda bulunduğu belirlenmiştir
2021	Doğan & Kama	Bir işletmenin tedarik zincirinde değer akış haritalama uygulaması	Tekstil sektörü (İplik üretimi)	<ul style="list-style-type: none">• Tedarik zincirinde önemli oranda yalınlaştırma
2021	Schoeman vd.	Demir-Çelik endüstrisinde atık yönetimi amacıyla değer akış haritalama uygulaması	Demir-Çelik endüstrisi	<ul style="list-style-type: none">• Demir ve çelik endüstrisinin atık akışlarını görselleştirmek ve analiz etmek, atık yönetimi operasyonlarındaki fırsatları ve zorlukları belirlemek, atıkları azaltmak, yalın üretimi teşvik etmek ve çevreye duyarlı sıfır atık ortamına ulaşmak için pratik bir yöntem sağlanmıştır

Literatürde değer akış haritalama üzerine oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Değer akış haritalamayı konu alan çalışmaların büyük çoğunluğu farklı sektör ve alanlarda uygulanan vaka çalışmalarından oluşmaktadır. Değer akış haritalama uygulamaların birçoğunda otomotiv endüstrisine (Belokar vd., 2012; Muñoz-Villamizar vd., 2019; Sarı, 2018) odaklanılsa da, değer akış haritalamanın mobilya endüstrisi (Alzubi vd., 2019; Guner Goren, 2017) ve tekstil endüstrisi (Akın, 2020; Suhardi vd., 2020) gibi çeşitli alanlarda da başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Değer akış haritalama yöntemi atık yönetiminde sistematik bir yaklaşım sunması, atığın azaltılmasına katkı sağlaması ve sürdürülebilir iyileştirme potansiyelleri geliştirmesi bakımından önemli bir yer tutmaktadır (Hedlund vd., 2020; Kurdve vd., 2015; Vilventhan vd., 2019).

Değer akış haritalama yönteminden demir-çelik alanı (Heravi & Firoozi, 2017; Schoeman vd., 2021), ayakkabı imalatı (Liu & Yang, 2020), halat imalatı (Yuvamitra vd., 2017) ve işleme süreçleri (Jia vd., 2017) gibi imalat alanlarında israfları belirlemek ve çeşitli iyileştirmeler sağlamak amacıyla yararlanılmaktadır. Değer akış haritalama yöntemine imalat sektörünün yanı sıra sağlık sistemi (Luz vd., 2020; Teichgräber & de Bucourt, 2012) ve otel endüstrisi (Vlachos & Bogdanovic, 2013) gibi hizmet alanlarında da başvurulmaktadır. Bunların haricinde gıda sektörü (Singh vd., 2020), elektronik montaj sistemleri (Chong vd., 2013), tedarik zinciri yönetimi (Chen vd., 2013; Doğan & Kama, 2021) ve ürün geliştirme (Tyagi vd., 2015) gibi çok çeşitli alanlarda değer akış haritalama uygulamaları bulunmaktadır.

Değer akış haritalama yöntemi daha kapsamlı bir uygulama prosedürü oluşturmak amacıyla, altı sigma (Salah vd., 2010; Singh vd., 2020), Monte Carlo simülasyonu (Luz vd., 2021), analitik hiyerarşi süreci (Turan, 2019), bulanık kalite fonksiyon göçerimi (Aouag vd., 2020; Mohanraj vd., 2015) ve genel ekipman verimliliği (Alzubi vd., 2019; Dadashnejad & Valmohammadi, 2019) gibi diğer metodolojik yaklaşımlar ile entegre edilerek de kullanılmaktadır. Dadashnejad & Valmohammadi (2019) değer akış haritalama iyileştirme fırsatlarının gaz küresel vana üretim sürecinde uygulanmasının genel ekipman verimliliği üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, değer akış haritalamanın ekipman ve makinelerin verimliliğini ve etkinliğini artırmak için bir araç olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır. Guo vd. (2019) üretim hattındaki sorunları çözmek için değer akış haritalama-DMAIC (tanımla-ölçme-analiz-iyileştirme-kontrol) entegre modeli

uygulamıştır. Bu modelde üretim problemlerinin tanımlanmasında değer akış haritalamadan, bu problemlerin çözümünde ise DMAIC anlayışından yararlanılmıştır. Klima montaj hattında gerçekleştirilen vaka çalışması neticesinde modelin israfi azaltmada fayda sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Heravi & Firoozi (2017) değer akış haritalama ve ayırık olay simülasyonundan yararlanarak gerçekleştirdikleri vaka çalışmasında mevcut durumda israfları belirleyerek gelecek durumu modellemiştir. Sonuç olarak teslim süresinde %34, maliyetlerde %16 iyileşme tespit edilmiştir. Bunların dışında, Liu & Yang (2020) değer akış haritalama yöntemini simülasyon ve gri Taguchi yöntemiyle entegre eden gelişmiş bir prosedür önermiştir. Midilli & Eevli (2020) yalın üretimde optimum stok seviyelerini belirlemek için simülasyon tabanlı bir optimizasyon yaklaşımı önermiştir. Muñoz-Villamizar vd., (2019) çevresel verimliliğin üretkenlikle entegrasyonu doğrultusunda yeni bir değer akışı haritalama yaklaşımı önermiştir. Munyai vd. (2019) çelik şaft imalatında darboğaz ve israfları belirlemek ve üretkenliği artıracak sürdürülebilir üretim sistemi stratejileri önermek için simülasyon ve değer akışı haritalama yöntemini entegre etmiştir. Zhu vd. (2020) organizasyonların karşılaştığı çevresel zorluklarla başa çıkmak için performans göstergesi olarak karbon verimliliği ve karbon emisyonunu ele alan, modifiye değer akışı haritalama modeli sunmuştur. Turan (2019) gelecek durum değer akış haritasını, mevcut durum değer akış haritalamasına göre iyileştirme önceliklerinin belirlenmesi ve zaman ve insan kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımı için bulanık analitik hiyerarşi yöntemi uygulayarak hazırlamıştır.

Değer akış haritalama, bir sürecin veya bir işin iyileştirilmesini temel almaktadır. Değer akış haritalama uygulamalarının genel kazanımları arasında iyileştirilmiş teslim süresi, artan üretkenlik, iyileştirilmiş kalite ve stoklar, azaltılmış çevrim süresi ve değer katmayan süre ve azaltılmış kusurlar yer almaktadır. Alzubi vd. (2019) ahşap mobilya üretim sürecinde değer akış haritalama ve ayırık olay simülasyon yöntemlerinden yararlanarak gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda değer katmayan sürede %6 iyileşme rapor etmişlerdir. Jia vd. (2017) önerdikleri Therblig-değer akış haritalama (T-DAH) uygulaması sonucunda toplam enerji talebinin %7,65 oranında azaldığını ve katma değer oluşturan faaliyetlerin süre bakımından verimliliğin (katma değer oluşturan faaliyet süresi ve toplam işleme süresi oranı) %8,12 oranında iyileştirildiğini belirtmişlerdir. Mishra vd. (2019) bir kaput üretim sürecinin mevcut

durumunu analiz etmek ve simülasyon yaklaşımından yararlanarak gelecek durum haritası tasarlamak amacıyla gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda çevrim süresinin önemli ölçüde iyileştiğini tespit etmişlerdir. Wang vd. (2020) bir beton bileşen üretim sürecinde değer akışı haritalama uygulaması gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda üretim hattının denge oranının iyileştiğini, katma değer oluşturan süre oranının arttığını, gerekli işgücü sayısının ve envanterin azaldığını rapor etmişlerdir. Bunlara ek olarak değer akış haritalama uygulaması sonucunda; Ramani & KSD (2019) üretkenlikte yaklaşık %30 oranında, Singh vd. (2020) teslim süresinde %14,88 oranında, işlem süresinde %14,71 oranında, Akın (2020) haftalık üretim miktarında adet bazında yaklaşık 150 adet, Başak vd. (2019) işlem süresinde %6,27 oranında iyileşme tespit etmişlerdir. Sonuç olarak değer akış haritalama yöntemi israfları ve teslim süresini azaltmak, kaliteyi iyileştirmek, gereksiz envanteri ve maliyetleri azaltmak isteyen işletmeler için faydalı bir yaklaşım sunmaktadır.

Literatürde çeşitli sektörlerde değer akış haritalama yöntemini konu alan birçok çalışma bulunmasına rağmen gerçekleştirilen tarama sonucunda ahşap endüstrisi değer akışını ele alan çok kısıtlı sayıda araştırma bulunduğu belirlenmiştir. Ahşap, sürdürülebilir olmayan malzemelerin ikame edilmesinde ön plana çıkan malzemelerden birisidir. Ancak, ahşap endüstrisinde süreç iyileştirme çalışmalarına gereken önemin verilmemesi, hammadde temininde yaşanan güçlükler, eğitimli personel eksikliği, iyileştirme odaklı araştırma-geliştirme faaliyetlerinin yetersizliği ve düşük kalite gibi sorunlar ahşap ürünleri imalatının ilerlemesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, ahşap endüstrisinde verimliliğin artırılması ve maliyetlerin azaltılmasına yönelik yaklaşımlar, sektörde yer alan işletmeler açısından yüksek önem düzeyine sahiptir. Bu çalışmada, ahşap sektöründe faaliyet gösteren ve kablo makarası üretimi gerçekleştiren bir işletmede işlem süresinin kısaltılması, hammadde kaybının azaltılması, stok düzeyinin düşürülmesi, üretim akışını olumsuz etkileyen faktörlerin ortadan kaldırılması ve kalitenin iyileştirilmesi amaçlarıyla toplam üretken bakım, eğitim çalışmaları ve kesim planlaması konuları ele alınarak literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır. Çalışmada kesim planlaması ile hammadde kaybını, hatalı ürün üretimini, gereksiz hareketleri, işlem süresini azaltabilecek ve üretimde uygulanabilecek bir karar destek modeli oluşturulması ve bu yönde endüstride ilgili alanda problem yaşayan işletmelere katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Takip eden bölümde (Bölüm 3'te) araştırma modeli, veri toplama süreci ve matematiksel model ve çözümü hakkında bilgiler verilmiştir.

3. YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde araştırma modeli ve veri toplama yöntemi hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca uygulamada ele alınan kesme problemi hakkında bilgiler verilmiş, oluşturulan matematiksel formülasyon ve iki aşamalı ayrıştırma algoritması tanımlanmıştır.

3.1. Araştırma Modeli ve Veri Toplama Süreci

Bu tez çalışması, ahşap endüstrisinde faaliyet gösteren ve üretim süreçlerinde sorunlar yaşayan bir işletmede değer akış haritalama yöntemi ile israf kaynaklarının belirlenmesini ve işgücü eğitimi, toplam üretken bakım ve kesim planlaması iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesini içermektedir. Araştırmada, örnek vaka yönteminden yararlanılmıştır. Ürün ailesi üretim problemleri, üretim hacmi, müşteri şikayetleri ve firma önerisi kıstasları dikkate alınarak belirlenmiştir. Araştırmanın uygulaması, ürün ailesi ile sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, elde edilen sonuçlar ürün ailesini temsil etmektedir.

Mevcut ve gelecek durum değer akış haritasının oluşturulmasında kullanılan veriler üretim sahasında gözlem, inceleme ve görüşme tekniklerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Belirlenen ürün ailesine yönelik üretim akış şeması çizildikten sonra veri toplama adımına geçilmiştir. Gözlem kapsamında imalat süreci incelenerek veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüşme sürecinde ilk olarak birim çalışanlarına süreci analiz etmeye yönelik yapılandırılmamış sorular sorulmuştur. Çalışma ekibi üretim şefi, üretim mühendisi ve birim sorumlularından oluşturulmuştur. Çalışma ekibi ile gerçekleştirilen toplantılar sırasında beyin fırtınası yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirilerek mevcut durum değer akış haritası oluşturulmuştur. Mevcut durum değer akış haritası detaylı bir şekilde incelenerek iyileştirme noktaları belirlenmiştir. Sürecin iyileştirilmesine yönelik çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir ve potansiyel iyileştirmeler ile gelecek durum değer akış haritası oluşturulmuştur. Yalın üretim yolunda toplam üretken bakım, işgücü eğitimi ve kesim planlaması ile ilgili iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

3.2. Kesme Problemi

Üretim süreçlerinde eksik planlama kararları zaman içerisinde uzun onarım süresi gerektiren üretim hatalarına ve montaj sorunlarına neden olabilmektedir. Üretimde hammadde atığı oluşumu ise üretim performansında verimsizlik ve etkisizlik anlamına gelmektedir. Bu nedenle üretimde uygulanabilecek ve hammadde kaybını en aza indirebilecek karar destek modellerine ihtiyaç duyulmaktadır (D'amours vd., 2008; Vahid vd., 2016). Üretimde hammadde olarak kullanılan ahşap malzeme yenilenebilir bir malzemedir ancak sınırlı doğal kaynaklardan üretilmektedir (Gunn, 2009). Günümüz üretim ortamında işletmeler, hammadde ve dolayısıyla doğal kaynaklardan tasarruf ederek verimli ve çevreci bir politika izlemek zorundadırlar. Bununla birlikte, ahşap endüstrilerindeki hammadde israfı yüksek oranlara çıkabilmektedir. Vaidya vd., (2016), işleme sürecinden nihai ürüne kadar olan ahşap işleme değer zincirinde verimin çok düşük olduğuna dikkat çekmişlerdir. Kereste ve ahşap levha üretim tesisleri dahil olmak üzere ahşap üretiminde, tomruğun %45-55'inin atığa veya yan ürünlere dönüşmesi nedeniyle önemli miktarda hammadde kaybı oluşmaktadır (FAO, 2020). Bu da hammadde kaybına dayalı maliyetlerin artmasına, fazladan işgücü ve enerji kullanımına ve işlem süresinin uzamasına neden olabilmektedir. Bunun yanında, atık halk sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturan ve çevreyi olumsuz etkileyen önemli bir sorun haline gelmiştir. Atıklar, ayrıca ekonomik gelişimi de olumsuz yönde etkilemektedir (Cardinali, 2001). Atığın giderilmesi/azaltılması amacıyla birçok çözüm önerilmektedir. Üretim sırasında malzeme gereksinimlerini azaltarak ve daha az malzeme atığı oluşturarak azalan malzeme kullanımı (enerji, su, metaller, hammaddeler dahil ürün girdileri, kimyasallar, vb.), çevresel atıkların en aza indirilmesi hedefine ulaşılmasına yardımcı olabilmektedir. Endüstriyel atık yönetimine yardımcı olmak için çeşitli teknolojiler, üretim yöntemleri ve karar destek sistemlerinden yararlanılabilmektedir (de Souza Melaré vd., 2017; Goriwondo vd., 2011). Bunun yanında, operasyonel faaliyetlerin bir parçası olarak yalın yöntem ve araçları uygulamak amacıyla üretimde malzeme israfını azaltmaya yönelik artan bir ilgi bulunmaktadır (Enroth & Zackrisson, 2000).

İşletmede, üretim sürecinde rasyonel bir planlama kararının bulunmaması nedeniyle taslak oluşturma sürecinde ürün kurulumu üretime sunulan ahşap parçaların denenmesi yoluyla belirlenmektedir. Bu da kurulum süresinin ve ara stokların

artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, hatalı ürün kurulumu nedeniyle uzun onarım süresi gerektiren üretim kusurlarına, ıskartalara, önemli ölçüde hammadde kaybına ve kesim süresinin gereksiz uzamasına neden olmaktadır. Bu israflar da üretimde fazladan işgücü ve enerji kullanımına neden olmaktadır. Bu nedenle her bir diskin en az kayıpla ve en iyi kalitede üretilebileceği bir karar destek modeli oluşturulmasına karar verilmiştir.

Ele alınan problemde hammadde kaybını minimize etmek ve ürün hatalarını ortadan kaldırmak amaçlanmıştır. Bu nedenle problem bir kesme problemidir. Kesme problemlerinde, stok malzemeler ürünlerin önceden belirlenmiş boyutlarına kesilir (Alem vd., 2010; Aliano Filho vd., 2017; Aloisio vd., 2011). Stok kesme problemlerinde boyutlar uzunluk, genişlik, yükseklik ve çap ölçülerini içermektedir. Tek boyutlu (1D) problemler (Alem vd., 2010; Aliano Filho vd., 2017; Aloisio vd., 2011) ve iki boyutlu (2D) problemler (Andrade vd., 2016; Bouaine vd., 2018; Cui & Xu, 2010) literatürde en çok çalışılan kesme problemleri arasında yer almaktadır. Gasimov vd. (2007), stok malzemelerinin standart boyutta ve yeterince büyük olduğu özel bir 2D durumu olan 1,5D problemini ortaya koymuştur. Kesme problemlerinin genel amaçları; üretimde kullanılan toplam malzeme miktarını, toplam malzeme atığını ve toplam üretim maliyetlerini en aza indirmek veya bir kar fonksiyonunu maksimize etmektir. Stok kesme problemlerinde giyotin kesim önemli bir yer tutmaktadır (Furini & Malaguti, 2013; Kallrath vd., 2014; Macedo vd., 2010). Giyotin kesme problemleri genellikle kağıt levhalar, ahşap kaplamalar, çelik levhalar, panel kapılar gibi dikdörtgen parçalara uygulanmaktadır (Aliano Filho vd., 2017; Andrade vd., 2016; Cui & Zhao, 2013). Kesme problemlerinde genel olarak çeşitli kompozitler, çelik ve kağıt gibi malzemeler ele alınmaktadır (Aliano Filho vd., 2017; Kallrath vd., 2014; Kennedy & Martins, 2012).

Bu çalışmada, kablo makara diski üretimi için ara ürünlerin boyutları belirlenmiştir. Problem, 1 boyutlu bir stok kesme problemi formülasyonları ile çözülebilir. Ancak mevcut durumda ara ürünlerin kesilmesi için uygun hammaddelerin seçilmesine gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle, problem standart boyutlarda birden fazla stok malzemesi ele alınması nedeniyle bir 1,5D stok kesme problemi konumundadır (Wäscher vd., 2007). Karışık-tamsayılı doğrusal programlama modelleri (Aloisio vd., 2011; Andrade vd., 2016; Chen vd., 1991), tamsayılı doğrusal programlama (ILP) modelleri (Aliano Filho vd., 2017; Araujo vd., 2011; Arbib vd.,

2016), doğrusal programlama modelleri (Cui & Zhao, 2013; Raffensperger, 2010), karışık-tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelleri (Furini & Malaguti, 2013; Gasimov vd., 2007; Kallrath vd., 2014) ve tamsayılı doğrusal olmayan programlama (INLP) modelleri (Cui vd., 2014; Kiwiel, 2010; Muter & Sezer, 2018) literatürde kesme problemlerinin çözümünde yararlanılan modelleme yaklaşımlarıdır. Stokastik programlama (SP) ve dinamik programlama (DP) modelleri de kesme problemlerinin çözümünde yararlanılan diğer modelleme yaklaşımlarıdır. SP, olasılık ve belirsizliği içeren bir modelleme yaklaşımıdır (Alem vd., 2010). DP, problemin daha basit alt problemlere ayrıştırıldığı ve yinelemeli bir şekilde çözüldüğü bir yaklaşımdır (Berberler vd., 2011).

Kablo makarası üretiminde kullanılan ve israf edilen hammadde miktarını, üretim hatalarını ve ara stokları etkileyebilecek kararlar; (i) disk oluşturmada kullanılan her bir ahşap parçanın boyutlarının ürün ebatlarının dikkate alarak belirlenmesi ve (ii) her bir ahşap parçanın en az kayıpla kesilebileceği ara mamul kereste boyutlarının seçilmesidir. Bu iki kararın verilebilmesi için matematiksel bir model oluşturulmuştur (Kokten & Sel, 2020a, 2020b). Tablo 2’de modelde kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları verilmiştir.

Tablo 2. İndeksler, Parametreler, İfadeler ve Karar Değişkenleri

	Sembol	Açıklama
İndeksler	I	Ahşap makara diski tahta seti, $I = \{0, 1, \dots, \max\{N_j\}\}$
	I'	Ahşap makara diski tahta seti (ürün ağacındaki miktar), $I' = \{1, 2, \dots, I' \}$, $I' \subset \mathbb{Z}^+$, $ I' = 4 \cdot \max\{N_j : j \in J\} + 2$, (her bir makara diski için 2 adet merkez tahtası gerekmektedir)
	J	Ahşap kablo makarası seti, $J = \{1, 2, \dots, J \}$, $J \subset \mathbb{Z}^+$
	K	Farklı uzunluktaki kereste seti, $K = \{1, 2, \dots, K \}$, $K \subset \mathbb{Z}^+$
	i	Ahşap kablo makarası disk tahtaları, $i \in I', I''$
	j	Ahşap kablo makarası, $j \in J$
	k	Kereste, $k \in K$
Parametreler	A_{ij}	Kablo makarası disk tahtalarını tanımlayan ikili matris, 1: j makarasında i tahtasının kullanılması durumunda, 0: kullanılmaması durumunda
	B_i	Herhangi bir kablo makarası diski için ürün ağacı, $B_i = \{\langle a, b \rangle : a \in I', b \in \{0, 1, \dots, N_j\}\}$, $i \in I'$
	D_j	j makarası talep miktarı (her bir makarada 2 adet ahşap makara diski bulunmaktadır)
	N_j	j makarası diskinde kullanılan farklı uzunluklardaki tahta sayısı
	R_j	j makarası disk çapı, (m)
	r_j	j makarası disk yarıçapı, (m)
	S_k	k kerestesi uzunluğu, (m)
	δ	Kesim payı, (m)
İfadeler	a_j	j makarası disk tahtası genişliği, (m)
	w	Toplam atık, (m)
Karar değişkenleri	l_{ij}	j kablo makarası diskindeki i tahtası uzunluğu, (m)
	l'_{ij}	j kablo makarası diskindeki i tahtası uzunluğu (ürün ağacındaki miktar), (m)
	x_{ijk}	Tahta ataması karar değişkeni, 1: j makarası i tahtasının k kerestesinden kesilmesi durumunda, 0: kesilmemesi durumunda
	y_{jk}	Kereste ataması karar değişkeni, 1: j makarasında k kerestesinin kullanılması durumunda, 0: kullanılmaması durumunda
	z	Üretimde kullanılacak toplam kereste uzunluğu, (m)

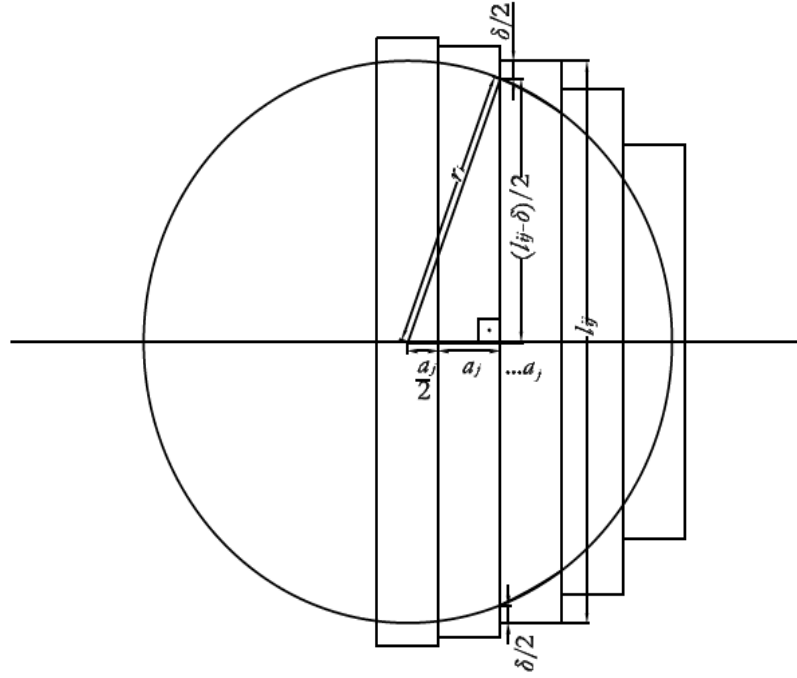
3.2.1. Pisagor Teoreminin Kablo Makarası Diskinde Uygulanması

Kablo makarası disk tahtalarının genişliklerini ve uzunluklarını hesaplamak için Pisagor teoreminden yararlanılmıştır. Buna göre teoremin diskte uygulanışı Şekil 2'de gösterilmektedir.

$$a_j = \frac{2r_j + \delta}{2N_j + 1} \quad \forall j \in J \quad (1)$$

$$r_j^2 = a_j^2(i-0.5)^2 + ((l_{ij} - \delta)/2)^2 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N_j\}, j \in J \quad (2)$$

Eşitlik (1) j makarası disk tahtalarının genişliğini hesaplamaktadır. Ahşap parçaların genişlik ve uzunluklarının hesaplanmasında Eşitlik (2)'den yararlanılmıştır.



Şekil 2. Kablo Makarası Diskinde Pisagor Teoremi Gösterimi

3.2.2. Matematiksel Formülasyon

Matematiksel formülasyon Eşitlik (3) ve Eşitlik (4)'de görüldüğü gibi tamsayı doğrusal olmayan programlama modeline entegre edilmiştir;

$$\min_z z = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} S_k \cdot y_{jk} \quad (3)$$

$$w = \sum_{k \in K, j \in J} S_k \cdot y_{jk} - \sum_{i \in I', j \in J} 2 \cdot D_j \cdot l'_{ij} \quad (4)$$

Amaç fonksiyonu (3) talebe göre kesilecek toplam kereste uzunluğunu minimize etmektedir. Bu, aynı zamanda hammadde kaybının da minimize edilmesi anlamına gelmektedir. Üretimde toplam kesilecek kereste uzunluğu ile talebi karşılamak amacıyla gerekli kereste uzunluğu arasındaki fark olan toplam atık miktarı Eşitlik (4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$l_{0j} \geq 2r_j + \delta \quad \forall j \in J \quad (5)$$

Kısıt (5) kablo makarası j 'nin disk çapına göre merkez tahtanın uzunluğunu hesaplamaktadır.

$$l_{ij} = 2 \cdot \sqrt{r_j^2 - a_j^2 (i - 0.5)^2} + \delta \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N_j\}, j \in J \quad (6)$$

Kısıt (6) Eşitlik (2)'den türetilmiş olup, j makarası diski i tahtası uzunluğunu hesaplamaktadır.

$$l'_{aj} = l_{bj} \quad \forall \langle a, b \rangle \in B_i, i \in I', j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I'} x_{ijk} \cdot l'_{ij} \leq S_k \cdot y_{jk} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (8)$$

Kısıt (8) üretimde gerekli tahtaların kesimi için kereste atamaktadır.

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \geq 2 \cdot D_j \cdot A_{ij} \quad \forall i \in I', j \in J \quad (9)$$

Kısıt (9) ilgili tahtaların üretimini sağlamaktadır.

$$l_{ij}, l'_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\} \quad \forall i \in I, I', j \in J \quad (10)$$

$$x_{ijk}, y_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I', j \in J, k \in K \quad (11)$$

Kısıt (10) ve (11) negatif olmama gibi çeşitli sınırlamaları içermektedir.

3.2.3. İki Aşamalı Ayrıştırma Algoritması

Günümüz bilgisayarlarında milyonlarca değişkeni işlemek mümkün olabilmektedir, ancak hesaplama süresi buna bağlı olarak oldukça uzayabilmektedir. Oluşturulan matematiksel modelin çözülmesindeki en önemli dezavantajlardan biri, değişken ve kısıt sayısının artması ile gereken hesaplama süresinin uzamasıdır. Fazla sayıda kısıt ve değişken içeren problemin tek parçada çözülmesine dayalı klasik yaklaşım ile çözüm takip edilememektedir. Bu sorunu ele almak için oluşturulan matematiksel model boyutlandırma ve kesim kararları doğrultusunda “stok büyüklüğü seçimi” ve “stok kesme” olarak adlandırılan iki alt modele ayrıştırılmıştır (Algoritma 1). Stok büyüklüğü seçimi alt modeli bir tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelidir. Stok kesme alt modeli ise bir tamsayılı doğrusal programlama modelidir. Alt modeller, matematiksel modelin hesaplama yükünü azaltmak amacıyla bir akış boyutunda çözülmüştür (Şekil 3).

Algoritma 1. İki Aşamalı Ayrıştırma Algoritması

- 1: **procedure** AKIŞ KONTROL TEKNİĞİ
- İLK AŞAMADA VERİ AKTARIMI-
 - 2: *stok büyüklüğü seçimi alt modeli:*
 - 3: alt modeli tanımla,
$$\min \sum_{i \in I, j \in J} l_{ij}, \text{ Kısıt (5), (6) ve (10) altında}$$
 - 4: alt model verisi tanımla,
 $|J|$ ve $N_j, R_j, j \in J$
 - 5: alt modeli oluştur ve çöz.
 - 6: *veri aktar:*
 - 7: tahta uzunluğunu l_{ij} ’den l_{ij}^t ’ye aktarmak için geçici değişken l_{ij}^t tanımla,
$$l_{ij}^t, i \in I', j \in J$$
 - 8: ürün ağacını göz önünde bulundurarak transfer değişkeni l_{ij}^t ’den l_{ij} çözümünü al
 - 9: **for** $i \leftarrow 1$ to $|I'|$ **do**
 - 10: **for** $j \leftarrow 1$ to $|J|$ **do**
 - 11:
$$l_{(B_i, a)j}^t = l_{(B_i, b)j},$$
 - 12: **end for**
 - 13: **end for**
 - İKİNCİ AŞAMADA ÇÖZÜM ALMA-
 - 14: *stok kesme alt modeli:*
-

Algoritma 1. İki Aşamalı Ayırıştırma Algoritması (Devamı)

15: alt modeli tanımla,
Amaç fonksiyonu (3), Kısıt (8-11) altında

16: alt model verisi tanımla,
 $|I'|, |J|, |K|$ ve $l'_{ij} = \emptyset, D_j, S_k, i \in I', j \in J, k \in K$

17: transfer değişkeni l'_{ij} 'yi stok kesme alt modeli verisine ekle,

18: **for** $i \leftarrow 1$ to $|I'|$ **do**

19: **for** $j \leftarrow 1$ to $|J|$ **do**

20: $l'_{ij} = l'_{ij}$

21: **end for**

22: **end for**

23: alt modeli oluştur ve çöz.

24: *sonuçlar:*

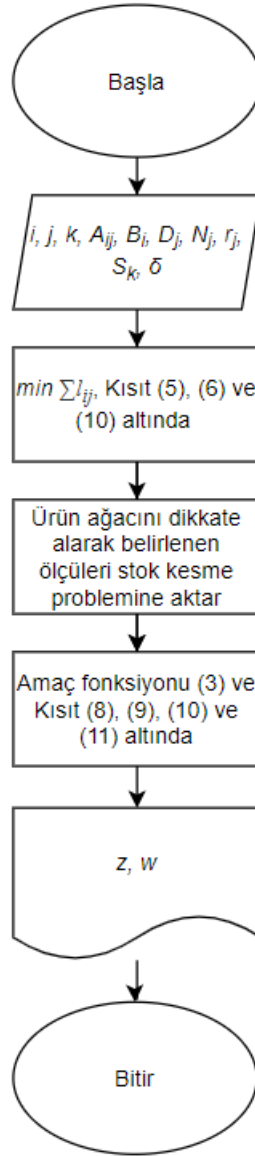
25: z değerini al ve karşılık gelen w değerini hesapla

26: **end procedure**

İlk aşamada, stok büyüklüğü seçimi alt modeli, $\min \sum l_{ij}$ fonksiyonu, Kısıt (5), (6) ve (10) altında tanımlanmıştır. Stok büyüklüğü seçimi alt model verisi olarak makara numarası ($|J|$), kablo makarası diskinde kullanılan farklı uzunluklardaki tahta sayısı ($N_j, j \in J$), kablo makarası disk çapı ($R_j, j \in J$) tanımlanmıştır. Ardından, stok büyüklüğü seçimi alt modeli oluşturulmuş ve çözülmüştür. Kablo makarası diski tahta uzunluklarının optimum değerlerini elde etmek amacıyla ürün ağacını göz önünde bulunduran geçici bir değişken ($l'_{ij}, i \in I', j \in J$) tanımlanmıştır.

İkinci aşamada, stok kesme alt modeli amaç fonksiyonu (3), Kısıt (8), (9), (10) ve (11) altında tanımlanmıştır. Stok kesme alt model verisi olarak ürün ağacındaki disk tahtası numarası ($|I'|$), makara numarası ($|J|$), kereste numarası ($|K|$), kablo makarası talep miktarı ($D_j, j \in J$), kereste uzunlukları ($S_k, k \in K$) ve ürün ağacındaki disk tahtası uzunluğu ($l'_{ij}, i \in I', j \in J$) tanımlanmıştır. Geçici değişken (l'_{ij}) ürün ağacındaki disk tahtası uzunluğuna dönüştürülmüştür ($l'_{ij} = l'_{ij}$). Ardından, stok kesme alt modeli oluşturulmuş ve çözülmüştür.

Sonuçlar, amaç fonksiyonunun (3) ve karar ifadesinin (4) optimal değerleri olarak rapor edilmiştir.



(*i*: disk tahtaları; *j*: kablo makarası; *k*: Kereste; A_{ij} : makara disk tahtalarını tanımlayan ikili matris; B_i : Herhangi bir kablo makarası diski için ürün ağacı; D_j : makara talep miktarı; N_j : makara diskinde kullanılan farklı uzunluklardaki tahta sayısı; r_j : disk yarıçapı; S_k : kereste uzunluğu; δ : kesim payı; l_{ij} : kablo makarası diskindeki tahta uzunluğu; z : Üretimde kullanılacak toplam kereste uzunluğu; w : Toplam atık)

Şekil 3. Çözüme İlişkin Akış Şeması

4. ÜRETİM SEKTÖRÜNDE UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde ahşap kablo makarası üretimi ile imalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilen uygulama sunulmuştur. Ahşap endüstrisinin güçlü ve zayıf yönleri tanımlanarak çalışma için ilgili endüstrinin seçilme nedenleri belirtilmiştir. Üretim problemlerine çözüm sunmak ve israfları ortadan kaldırmak amacıyla sürecin mevcut durum analizi yapılmıştır. Mevcut durumun detaylı analizi ile kayıp noktaları belirlenerek iyileştirme çalışmaları değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan kaizenler ile gelecek durum değer akışı haritası oluşturulmuş ve incelenmiştir.

4.1. Ahşap Endüstrisi

Günümüz endüstrisinde plastik gibi yaygın olarak kullanılan kaynaklar çevre veya insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilmektedir (Ha & Yeo, 2018). Ürünlerin yeniden tasarlanması ve yenilenebilir hammaddelerin kullanımı her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Doğal kaynakların verimli ve rasyonel kullanımı ise sürdürülebilir bir kalkınma için anahtar niteliği taşımaktadır. Ahşap, sürdürülebilir olmayan malzemelerin ikame edilmesinde en umut verici fırsatlara sahip malzemelerden birisidir (Landscheidt & Kans, 2019).

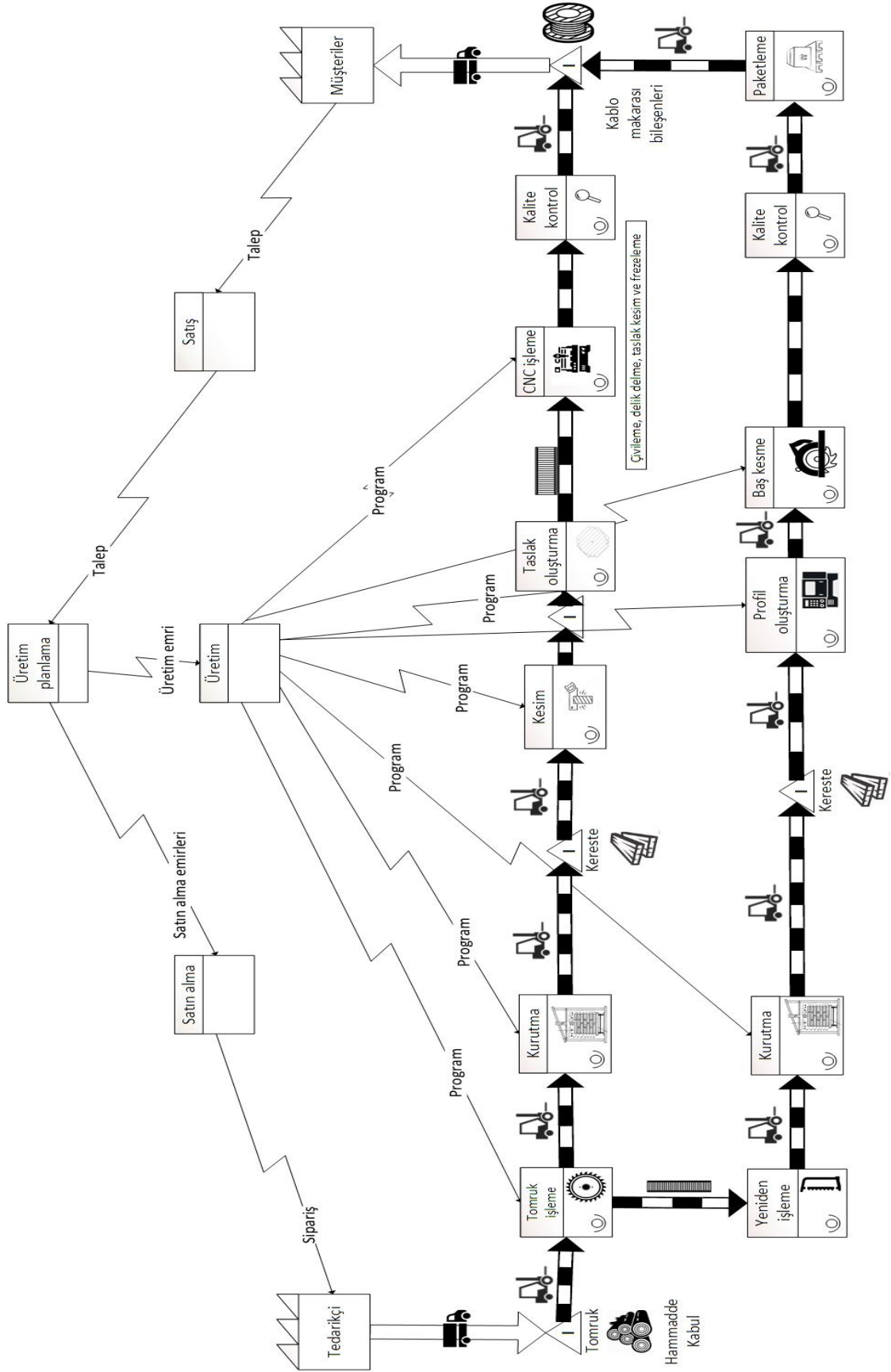
Ahşap ürünleri imalatı sunta, kontrplak gibi inşaat malzemeleri, palet, kablo makarası gibi endüstriyel ürünler, mobilya gibi iç yapı bileşenleri olmak üzere çok çeşitli ürünleri, işlemleri ve pazarları içermektedir. Ülkemiz ahşap endüstrisinde faaliyet gösteren işletmeler genel itibari ile özel sektöre ait işletmelerdir. Bu da sektörün dinamik ve gelişmeye açık bir sektör olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca sektörün ülkemizdeki işgücü maliyetinin ucuz olması ve kalite bilincinin her geçen gün daha da artması sektörün güçlü yanlarını temsil etmektedir. Ahşap endüstrisinde süreç iyileştirme çalışmalarına gereken önemin verilmemesi, yerli ve ithal hammadde temininde yaşanan güçlükler, kalifiye/eğitilmiş personel eksikliği, iyileştirme odaklı tasarım/araştırma-geliştirme çalışmalarının yetersizliği, proje üretmedeki eksiklikler, düşük kalite ve ihtisaslaşma sorunları sektörün zayıf yönleri olarak ön plana çıkmaktadır (Mutlu vd., 2012; TOBB, 2015). Ahşap endüstrisi başlıca ürünlerinden biri olan kereste, tomrukların tomruk bıçkıları ile biçilmesi ve kesilmesi ile elde edilen

prizmatik biçimli ürün olarak tanımlanmaktadır. Kereste endüstrisinde hammadde maliyetinin toplam mamul maliyetindeki payı %80 gibi çok yüksek oranlara ulaşabilmektedir (Mutlu vd., 2012). Üretimde yüksek miktarda hammadde atığı oluşumu ve verimsizlik, her sektörde olduğu gibi ahşap ürünleri endüstrisi için de önemli bir sürdürülebilirlik sorunu durumundadır. Günümüz üretim ortamında işletmeler, rekabet edebilmek için hammadde ve dolayısıyla doğal kaynaklardan tasarruf ederek verimli bir politika izlemek zorundadırlar. Endüstriyel kullanımı arttırmak ve sürdürülebilir olmayan malzemelerin ikamesi haline getirmek için ahşap ürünleri imalatının ilerlemesi ve rekabetçi üretim stratejilerinin uygulanması gerekmektedir. Ahşap endüstrisinde faaliyet gösteren işletmeler piyasa ihtiyaçlarını karşılayacak ürün üretimini gerçekleştirebilmelerine rağmen ahşap ürünlerinin imalatında yararlanılan metotlar yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, ahşap endüstrisinde verimliliğin artırılması ve maliyetlerin azaltılmasına yönelik yaklaşımlar, sektörde yer alan işletmeler açısından yüksek önem düzeyine sahiptir. Üretim süreçlerinde mevcut durumda bulunan israf kaynakları çoğu zaman tespit edilememekte, tespit edilse dahi çoğunlukla stratejik iyileştirme planları geliştirilememektedir. Değer akış haritalama, israf kaynaklarının belirlenmesi ve ortadan kaldırılması yolunda yararlanılabilecek yöntemlerin keşfedilmesine ve karar verilmesine yardımcı bir araçtır. İyileştirmeyi temel alan değer akış haritalama yöntemi ile bir sürecin güçlü ve zayıf yönlerini keşfetmek ve stratejik planlar oluşturarak kalitede iyileşme, üretkenlikte artış, kusurlar, gereksiz envanter ve gereksiz hareketlerde azalma gibi rekabetçi avantajlar sağlamak mümkün olabilmektedir. Değer akışında israfların tanımlanmasını ve ortadan kaldırılmasını amaçlayan yalın üretim stratejilerinin, ahşap endüstrisinde faaliyet gösteren işletmeler için önemli bir güç sağlayacağı kaçınılmaz olarak görülmektedir.

4.2. Uygulama

Ahşap endüstrisinde faaliyet gösteren, ara ürün kereste ve nihai ürün ahşap kablo makarası üretimi gerçekleştiren bir tesis temel alınarak bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. İşletmeye ait üretim akış şeması Şekil 4'te verilmiştir. Tesiste, biri 1,6 m çap ölçüsü altındaki ürünlerin üretimi, diğeri 2 m çap ölçüsü altındaki ürünlerin üretimi için kullanılan iki adet CNC işleme hattı bulunmaktadır. Vaka analizi, her iki

hatta gerçekleştirilen üretimler göz önünde bulundurularak yürütülmüştür. İki vardiya halinde çalışan, 4000 m² kapalı, 8000 m² açık alana sahip tesiste yaklaşık 150 kişi istihdam edilmektedir. İşletme ürünlerini yurtiçi ve yurtdişi piyasalarına sunmaktadır. Tesiste, apı çoğunlukla 0,8 m ila 2 m arasında değişen kablo makarası üretilmektedir. Üretimde yoğun olarak 2 m, 2,5 m, 3 m, 4 m ve 5 m boylarında tomruklar kullanılmaktadır. Kesme operasyonları için kesim payı 0,02 m olarak kabul edilmektedir. Vaka analizinin gerçekleştirildiği firmanın müşterileri başta kablo üreticileri olmak üzere, halat, plastik hortum gibi sarmal gerektiren ürün üreticileridir. İşletme müşterilerinin ihtiyaçlarına yönelik olarak makara üretimi yapmaktadır. İşletmenin nihai hedeflerinden biri müşterilerine zamanında ve kaliteli ürün sunmaktır. Bu alışma, kablo makarası üretiminin değer akışının incelenmesi üzerine gerçekleştirilmiştir.



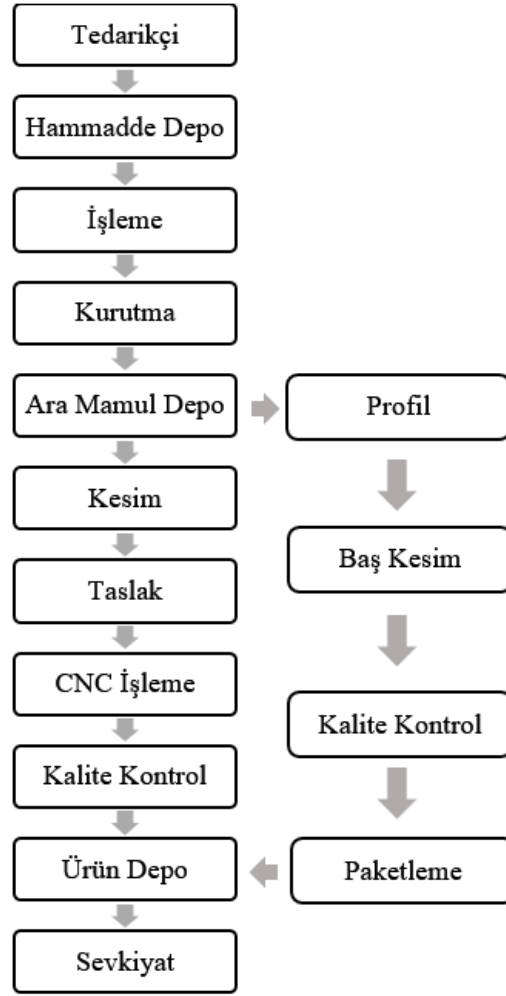
Şekil 4. Üretim Akış Şeması

4.3. Değer Akış Haritalama Süreci

Bir üretim sürecinde şekil, form ya da biçim değişikliği oluşturmayan eylemler müşteriler tarafından “değer katmayan” işlem olarak tanımlanmaktadır. Yalın üretim, işletmede herhangi bir sürece/etkinliğe değer katmayan ve israf olarak tanımlanan faaliyetlerin yok edilmesini amaçlamaktadır (Brown vd., 2006). Müşteriler yeniden işleme, ara stoklar, fazladan işlem, malzeme beklmeleri gibi israf kaynaklarına ödeme yapmak istemezler. İşletmelerde israf kaynaklarını en aza indirmek için öncelikle bu kaynakların belirlenmesi gerekmektedir. Aksi halde, israf kaynakları tanımlanmadan israfın en aza indirilmesi yolunda gerekli önlemleri planlamak mümkün olmayacaktır. Vaka çalışması için seçilen işletme, müşterileri olan kablo, halat ve plastik hortum üreticileri için ahşap makara üretmektedir. İşletmenin nihai hedeflerinden biri müşterilerine zamanında ve kaliteli ürün sunmaktır. İşletmede yöneticiler ve teknik çalışanlar ile gerçekleştirilen toplantılar sonucunda; siparişlerin zamanında hazırlanamadığı, hammadde kaybına dayalı maliyetlerin yüksek olduğu, uzun onarım süresi gerektiren üretim hatalarının ve firelerin bulunması ve artan yarı mamul stoku gibi problemler tespit edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, müşteri tarafından algılanan değer tanımlanarak araştırmanın amaçları doğrultusunda sürece ait mevcut durum değer akış haritasının hazırlanması ve gelecek durum değer akış haritasının tasarımı analiz edilmiştir.

4.3.1. Ürün Ailesinin Seçilmesi

Mevcut durum değer akış haritasının hazırlanmasının ilk adımı ürün ailesinin belirlenmesidir. Ürün ailesi, benzer süreçleri izleyen, ortak ekipman/malzemelerin kullanıldığı ürün grubunu ifade etmektedir. Değer akış haritası oluşturma işlemi ürün ailesi temel alınarak yapılmalıdır. Aksi halde bütün akışların tek bir harita üzerinde gösterilmesi karmaşaya neden olabilmektedir. Buna göre, üretim hacminin sınırlı kalması, müşteri talebinin yoğun olması, üretim problemlerinin sıklıkla gözlenmesi ve müşteri şikayetlerine konu olması nedeniyle ürün ailesi olarak ahşap makara üretimi seçilmiştir. Ürünün tesiste oluşturduğu iş akış şeması Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Ürün İş Akış Şeması

4.3.2. Mevcut Durum Analizi

Mevcut durum analizinde, yalın üretime geçiş yolunda ilk adım olan değer akış haritalama yöntemi kullanılarak sürecin değer akışı analiz edilmiş ve mevcut durum haritası oluşturulmuştur. Üretim sürecinin mevcut durum haritası, süreçteki akışı bir bütün halinde görmeyi ve israf kaynaklarını tespit etmeyi mümkün kılmaktadır. Yapılacak çalışmalar da israf kaynaklarına karşı iyileştirme çalışmaları olacaktır.

Tesiste çalışma saatleri 08:30-18:00'dır. Günde, 10:00 ve 15:00 olmak üzere iki defa 15'er dakikalık çay molası ve 12:00'da bir defa 60 dakikalık öğle yemeği molası verilmektedir. Buna göre günlük toplam 8 saat (480 dakika) mesai yapılmaktadır. Tesiste iki vardiya halinde çalışılmakta ve gerektiğinde fazla mesai

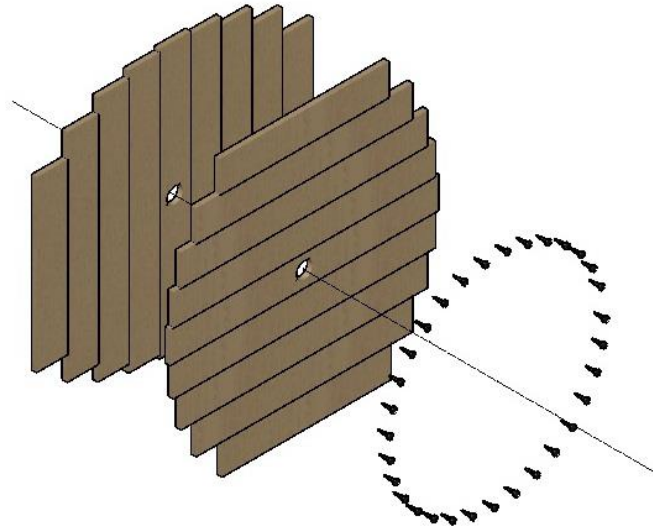
yapılmaktadır. Üretilmesi gereken ürün adedi siparişe göre değişmektedir. Ancak, gözlem yapılan dönemde üretilmesi gereken ürün miktarı 560 adet/gün olarak tespit edilmiştir.

Üretim süreci işleme, kurutma, kesim, taslak ve CNC işleme bölümlerinden oluşmaktadır. İşletmede sipariş üzerine üretim yapılmaktadır. Müşteri siparişleri, ürünün tesliminden en az 2 hafta öncesinden satış birimine ulaştırılmaktadır. Kabul edilen siparişler üretim planlama birimine aktarılır. Üretim planlama birimi müşteri talepleri doğrultusunda ihtiyaçları satın alma bölümüne iletir ve satın alma birimi kalite standartlarına uygun olarak tedarikçilerden alım yapar. Üretim için gerekli hammadde tomruktur. Depolardan tedarik edilen tomruklar hammadde depoda boy ve çap esaslarına göre sınıflandırılarak stoklanmaktadır. Kablo makarası üretiminde tomruklar, tomruk işleme, yeniden işleme ve kurutma birimlerinden sonra kereste formunda depolanmaktadır. Tomruk işleme biriminde hammadde, tomruk bıçkıları ve çoklu-dilme makineleri ile işlenmektedir. Yeniden işleme biriminde kapak tahtaları dik ve yatay olmak üzere şerit dilme makineleri ile işlenmektedir. Kurutma biriminde, ISPM-15 standardına uygun olarak ahşaba, biyolojik zararlıların olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla ahşap kurutma fırınında (Şekil 6) minimum 56 °C sıcaklıkta 30 dakika boyunca termal işlem uygulanmaktadır (IPPC, 2013).



Şekil 6. Ahşap Kurutma Fırını

Süreçte, kablo makarası diski ve bağlantı elemanları üretimi olmak üzere iki hat bulunmaktadır. Kablo makarası diski üretim hattında ara mamul (kereste) kesim biriminde boyutlanmaktadır. Üretimi gerçekleştirilecek kablo makarasının özelliklerine göre kesim planının bulunmaması, kesim sürecinin uzamasına ve ara stokların artmasına neden olmaktadır. Taslak oluşturma biriminde iki ahşap katmanın Şekil 7’de gösterildiği gibi birbirine 90°’lik açı ile birleştirilmesiyle makara taslağı oluşturulmaktadır. Bu birimde kesim sürecinde çeşitli boyutlarda elde edilen parçalar kullanılmaktadır. Herhangi bir kesim planının olmaması bu noktada çalışanların parça seçimi için gereksiz harekette bulunmasına, taslak oluşturma süresinin artmasına ve ara stok oluşmasına neden olmaktadır. Oluşturan taslak, CNC işleme biriminde çivileme, taslak kesim, frezeleme ve delik delme gibi işlemler sonrası disk haline getirilmektedir. Kesim için bir planlamanın yapılmaması bu birimde taslak kesim sırasında hammadde kaybına veya ürün kusurlarına neden olmaktadır. Ayrıca, onarım yapılabilecek durumda olan ürünler taslak oluşturma birimine tekrar gönderilmekte, onarım yapılamayacak ürünler ise hurdaya ayrılmaktadır. Bağlantı elemanları üretim hattında, profil oluşturma ve baş kesme operasyonları sonrası kalite kontrolden geçirilen makara bileşenleri paketlenerek diskler ile sevkiyata hazır hale getirilmektedir. Nihai ürün montajı müşteri atölyelerinde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7. Örnek Kurulum Şeması

İşleme bölümünde 5 operatör çalışmaktadır. Çevrim süresi 3,2 saniyedir. İşleme bölümü stoku işlenmemiş tomruktur. Kurutma bölümünde 2 operatör görev yapmaktadır. Kurutma bölümü çevrim süresi 3,2 saniyedir. Kurutma bölümü stoku ara ürün kerestedir. Kesim bölümünde 3 operatör görev yapmaktadır. Kesim bölümü çevrim süresi 2,13 saniyedir. Kesim bölümü stoku ısıtılmış kerestedir. Taslak bölümünde toplam 22 operatör görev yapmaktadır. Taslak bölümü çevrim süresi 144 saniyedir. Taslak bölümü stoku boyutlanmış kerestedir. CNC işleme bölümünde toplam 8 operatör görev yapmaktadır. CNC işleme bölümü çevrim süresi 115,2 saniyedir. Bu bölümün stoku makara taslağıdır.

Süreçler için oluşturulan üretim akış süresi ve işlem süresi Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Mevcut Durum Üretim Akış Süresi

İşlenmiş ürün	0,2 gün
Isıl işlemlili ürün	0,8 gün
Boyutlanmış ürün	0,5 gün
Birleştirilmiş ürün	0,3 gün
Üretim akış süresi	1,8 gün

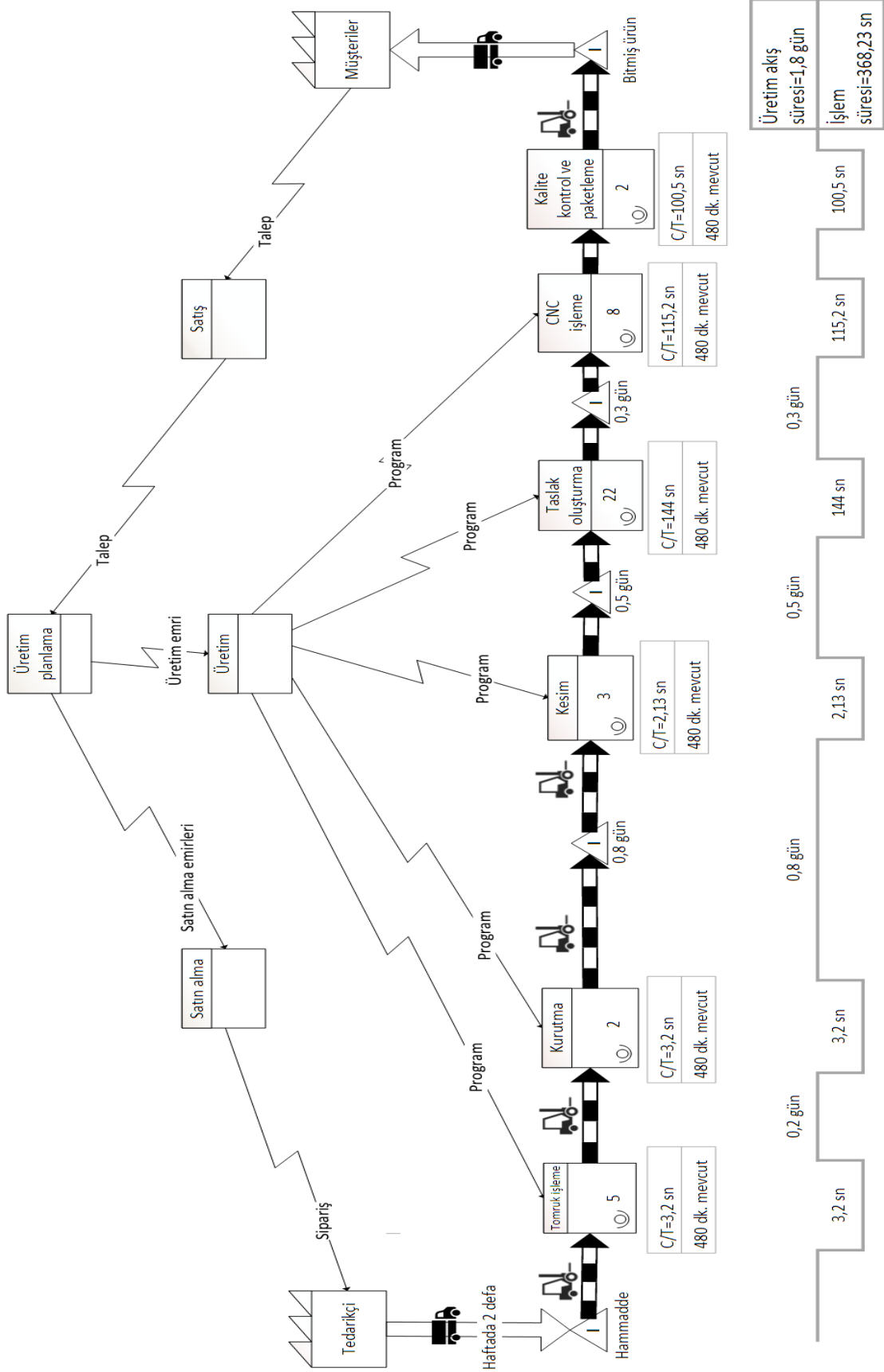
Tablo 4. Mevcut Durum İşlem Süresi

İşleme	3,2 sn
Kurutma	3,2 sn
Kesim	2,13 sn
Taslak	144 sn
CNC işleme	115,2 sn
Kalite kontrol ve paketleme	100,5 sn
İşlem süresi	368,23 sn

Tablo 5'te bilgi kutusu kısaltmaları açıklamalarıyla birlikte verilmiştir. Mevcut durum analizinde üretim Şekil 8'deki gibi haritalandırılmıştır.

Tablo 5. Bilgi Kutusu

Bilgi kutusu	Açıklama
C/T	Çevrim süresi



Şekil 8. Mevcut Durum Değer Akış Haritası

Üretim hattı sorunlarını belirlemek amacıyla mevcut durum değer akışı haritası detaylı bir şekilde incelenmiştir. Buna göre;

- Müşterinin ürünü ne kadar süre aralığında talep ettiğini gösteren Takt zamanı= $\text{Kullanılabilir günlük süre (saniye)} \times \text{Vardiya sayısı} / \text{Müşteri talebi (günlük)}$ eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Buna göre; Takt zamanı= $28800 \times 2 / 560 = 102,85$ saniyedir.
- Mevcut durum değer akışı haritasından en uzun çevrim sürelerine sahip olan iki işlemin taslak oluşturma (144 saniye) ve CNC işleme (115,2 saniye) olduğu görülmektedir. Bu iki işlem 102,85 saniye olan takt zamanının üzerindedir. Buna göre taslak oluşturma ve CNC işleme birimlerinde iyileştirme çalışmalarına gereksinim duyulmaktadır.
- Süreçlerde yarı mamul stok düzeyleri yüksektir.
- Üretim sürecinde uzun onarım süresi gerektiren üretim hataları bulunmaktadır. Hatalı ürünler yeniden işlemeye gönderilerek büyük ölçüde geri kazanılmaktadır. Ancak yeniden işleme, sürecin uzaması, işgücü kaybı, enerji ve hammadde israfı gibi çeşitli kaynak israflarına neden olmaktadır.
- Tesiste, makinelerde sıklıkla beklenmedik arızalar ile karşılaşmaktadır. Bu da üretim akışını olumsuz yönde etkilemektedir.
- Çalışanların hastalık gibi işe devamsızlık durumlarında fonksiyonel eğitim eksikliği nedeniyle üretim akışında aksamalar meydana gelmektedir.

4.3.3. Gelecek Durum Analizi

Değer akışı haritalama yöntemi ile üretim sürecinde israf kaynaklarının tespit edilmesi ve bu doğrultuda iyileştirme uygulamalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Mevcut durum analizi ile sürecin durumu ortaya çıkarılmıştır. Bu bölümde de ortaya çıkan kaizenler ile Şekil 9'da verilen gelecek durum değer akışı haritası oluşturulmuş ve incelenmiştir. Gerçekleştirilen değer akışında işletmede önemli düzeyde israf kaynakları bulunduğu tespit edilmiştir. Mevcut durum analizi sonucunda üretim sürecinde belirlenen israf kaynaklarının azaltılmasına/ortadan kaldırılmasına yönelik yöntemler gelecek durum haritasında gösterilerek iyileştirme çalışmaları önerilerine yer verilmiştir. Süreçler için oluşturulan gelecek durum üretim akışı süresi ve işlem süresi Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir.

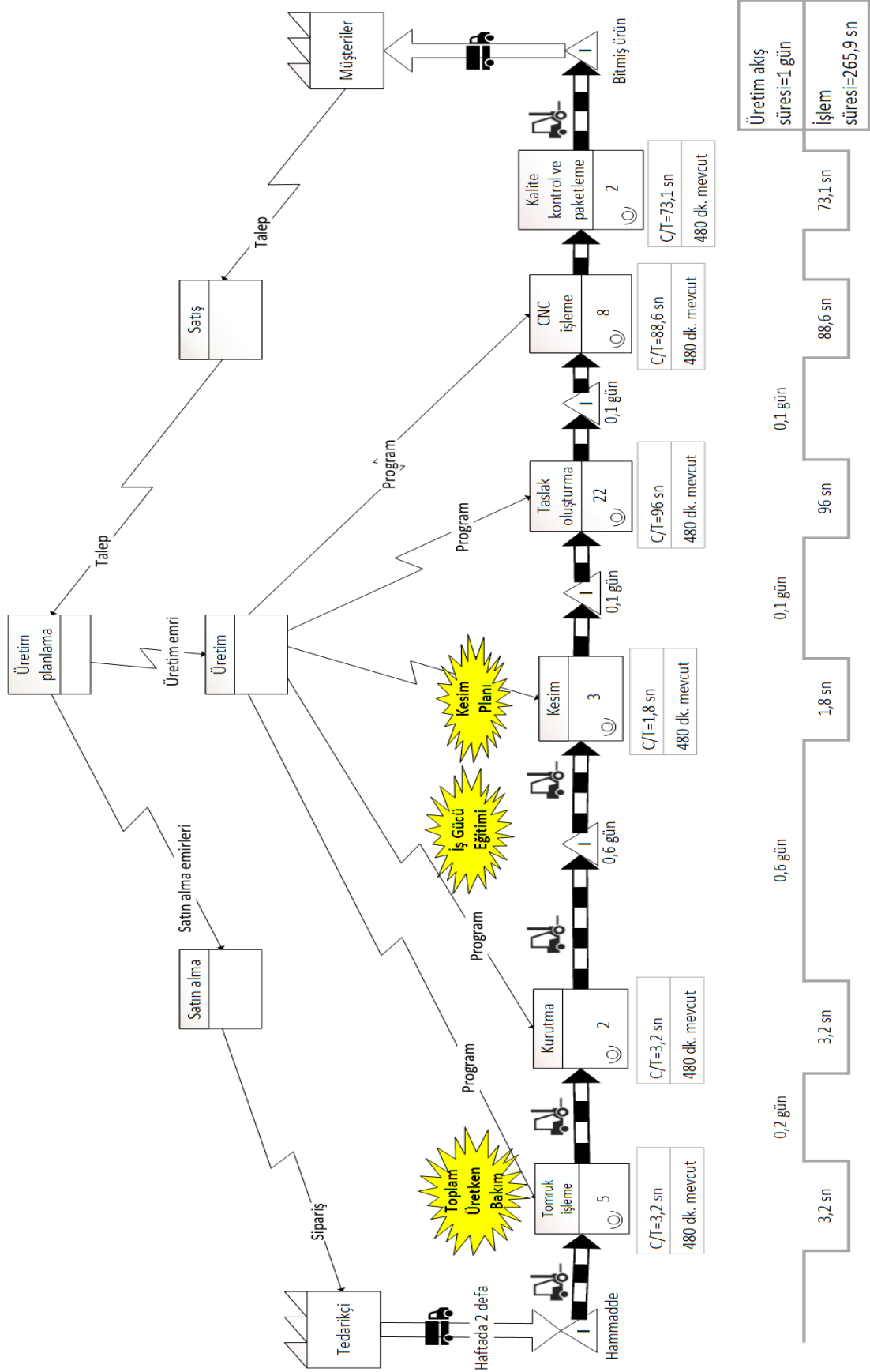
Tablo 6. Gelecek Durum Üretim Akış Süresi

İşlenmiş ürün	0,2 gün
Isıl işlemli ürün	0,6 gün
Boyutlanmış ürün	0,1 gün
Birleştirilmiş ürün	0,1 gün
Üretim akış süresi	1 gün

Tablo 7. Gelecek Durum İşlem Süresi

İşleme	3,2 sn
Kurutma	3,2 sn
Kesim	1,8 sn
Taslak	96 sn
CNC işleme	88,6 sn
Kalite kontrol ve paketleme	73,1 sn
İşlem süresi	265,9 sn

Gelecek durum haritasında işlem süresi %27,78 oranında iyileşerek 265,9 saniyeye, üretim akış süresi ise %44,44 oranında iyileşerek 1 güne düşmüştür. Bu noktada önerilen iyileştirme faaliyetleri bir sonraki kısımda ele alınmıştır.



Şekil 9. Gelecek Durum Değer Akış Haritası

4.3.4. İyileştirme Çalışmaları

Mevcut durum analizi sonucunda işlem süresi 368,23 saniye, üretim akış süresi 1,8 gün olarak tespit edilmiştir. Tesiste mevcut durum analizi sonucu tespit edilen problemlerin ortadan kaldırılması için gerekli iyileştirme faaliyetleri gelecek durum değer akış haritasında gösterilmiştir. Buna göre üretim sürecinde boyutlama işlemi, kesim birimi tarafından üretim birimince ortaya konulmuş herhangi bir planlama kararı olmadan gerçekleştirilmektedir. Bu da CNC işleme biriminde taslak kesim sırasında önemli miktarda hammadde kaybına veya uzun onarım süresi gerektiren üretim hatalarına neden olmaktadır. Onarım yapılabilecek durumda olan ürünler taslak oluşturma birimine tekrar gönderilmekte, onarım yapılamayacak ürünler ise hurdaya ayrılmaktadır. Ayrıca, planlama kararlarının alınmaması, kesim sürecinin uzamasına, ara stokların artmasına, taslak oluşturma biriminde çalışanların parça seçimi için gereksiz harekette bulunmasına ve taslak oluşturma süresinin uzamasına neden olmaktadır. İşletmede ayrıca makine ve teçhizatın bakımı/onarımı için herhangi operasyonel bir sistem bulunmamaktadır. Bu da makinelerde beklenmedik arızalara neden olarak üretim akışını, iş gücü verimliliğini ve teslim süresini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca, işletmede hastalık, işe devamsızlık gibi durumlara karşı çalışanların eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi üzerine herhangi bir planlama bulunmamaktadır. Bu bilgiler ışığında siparişlerin zamanında hazırlanması, hammadde israfının azaltılması, üretim hızının artırılması, kalitenin iyileştirilmesi, stokların azaltılması üzerine iyileştirme çalışmalarına karar verilmiştir.

Tablo 8’de mevcut ve gelecek durum üretim akış sürelerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 8. Mevcut ve Gelecek Durum Üretim Akış Süreleri

	Mevcut durum	Gelecek durum
İşlenmiş ürün	0,2 gün	0,2 gün
Isıl işlemlerli ürün	0,8 gün	0,6 gün
Boyutlanmış ürün	0,5 gün	0,1 gün
Birleştirilmiş ürün	0,3 gün	0,1 gün
Üretim akış süresi	1,8 gün	1 gün

Değer akış haritası gelecek durum senaryosunda, iyileştirmeler ile 1,8 gün süren üretim akış süresi 1 güne düşürülmüştür. Böylece üretim akış süresinde %44,44 oranında iyileşme sağlanacağı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ile üretim sürecinde yarı mamul stok düzeyi azalacak, yeni ve daha sürdürülebilir bir sistem oluşacaktır. Mevcut ve gelecek durum işlem sürelerinin karşılaştırılması Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Mevcut ve Gelecek Durum İşlem Süreleri

	Mevcut durum	Gelecek durum
İşleme	3,2 sn	3,2 sn
Kurutma	3,2 sn	3,2 sn
Kesim	2,13 sn	1,8 sn
Taslak	144 sn	96 sn
CNC işleme	115,2 sn	88,6 sn
Kalite kontrol ve paketleme	100,5 sn	73,1 sn
İşlem süresi	368,23 sn	265,9 sn

Gelecek durum senaryosunda, 368,23 saniye süren işlem süresi 265,90 saniyeye düşürülerek %27,78 oranında iyileşme sağlanacağı tespit edilmiştir. Buna göre kesim planlaması, toplam üretken bakım ve iş gücü eğitimi çalışmaları ile kesim süreci işlem süresinden 0,33 sn, taslak oluşturma işlem süresinden 48 sn, CNC işleme birimi işlem süresinden 26,6 sn ve paketleme süreci işlem süresinden 27,4 sn tasarruf etmek mümkün hale gelmiştir.

4.3.4.1. Toplam Üretken Bakım

İşletmeler, son yıllarda yönetim yaklaşımları, ürün ve süreç teknolojileri, müşteri beklentileri, tedarikçi tutumları ve rekabet anlayışı gibi alanlarda köklü değişimler yaşamaktadırlar (Ahuja vd., 2006). Küresel pazar, imalat ve hizmet sektörü müşteri ve rakipleri tarafından her geçen gün artan bir baskıya maruz kalmaktadır (Basu, 2001).

Hızlı değişim gösteren küresel pazarda işletmeler, müşterilerini memnun etmek amacıyla maliyetleri düşürme, üretkenlik seviyelerini artırma, kaliteyi geliştirme ve

teslimatları garanti altına alma gereksinimi duymaktadırlar. Günümüzün hızla değişen pazarında, üretim operasyonlarındaki yavaş iyileştirmeler, bir kuruluşun sürdürülebilir kârlılığını ve/veya uzun süre hayatta kalmasını garanti edememektedir (Oke, 2005). Günümüz rekabet ortamının getirdiği zorlukların üstesinden gelmek için, üretim organizasyonlarının, faaliyetlerinin tüm yönlerinde kalite ve performans iyileştirme girişimlerini benimsemesi gerekmektedir.

Toplam üretken bakım, üretken bakım kavramları ve metodolojilerine dayalı olarak geliştirilmiş bir Japon felsefesidir. Toplam üretken bakım, ekipman verimliliğini en üst düzeye ulaştırmayı hedefleyen, arızaları önleyen, toplam işgücünü içeren ve operatörler tarafından gerçekleştirilen otonom bakımı destekleyen yenilikçi bir bakım yaklaşımıdır (Bhadury, 2000). Toplam üretken bakım, üretim ekipmanının genel etkinliğini en üst düzeye çıkarmak amacıyla bir organizasyondaki işlevleri devreye sokmaya çalışır. Toplam üretken bakım anlayışı, hataların ve kazaların azaltılarak, mevcut süreçlerin ve ekipmanların iyileştirilmesini sağlar (Shirose, 1995). Yetersiz bakım uygulamaları üretim tesislerinde sık sık arızalara neden olmaktadır. Bu da üretimin düşmesine, ekipmanların kullanılabilirliğinin azalmasına, verimin ve organizasyonel rekabet gücünün olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır (Ahuja & Khamba, 2008).

İşletmede makine ve teçhizatın bakımı/onarımı için herhangi operasyonel bir sistem bulunmamaktadır. Bu da makinelerde beklenmedik arızalara neden olarak üretim akışını, iş gücü verimliliğini, teslim süresini ve makine kullanım oranını olumsuz yönde etkilemektedir. İşletmeye üretken bakım anlayışının kazandırılması olası arızaların önüne geçilmesi bakımından önem kazanmaktadır.

Siparişlerin onaylanan program çerçevesinde gecikme yaşanmadan tamamlanabilmesi için üretimin aksamalar olmadan gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle olası arızalara karşı bakım çalışmalarının belirlenerek eksiksiz tamamlanması ve arıza durumunda da akışı mümkün olduğunca aksatmamak amacıyla, makine operatörleri tarafından giderilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca sigorta, sensör, testere ve freze bıçağı gibi aşırı stok oluşturmeyen ancak sık arıza yapan parçaların yeterli sayıda yedekte bulundurulması arızanın mümkün olan en kısa sürede çözülmesini sağlayacaktır. Üretim sürecinde kullanılan hammadde ve ortam nedeniyle makine aksamalarında talaş ve toz birikintileri oluşmaktadır. Bu da makinelerin arıza

vermesine neden olabilmektedir. Bu noktada makine temizliğinin günlük bakım periyodunda gerçekleştirilmesi oldukça önem kazanmaktadır.

İşletmede üretken bakım anlayışının benimsenmesini sağlamak amacıyla Ek 1'de verilen bakım formu hazırlanmıştır. Makine/Teçhizat bakım formu üretim aracında gerçekleştirilen yağlama, temizlik, ömrünü tamamlamış, yıpranmış veya hasar görmüş parçaların değişimi/tamiri gibi bakım çalışmalarının takibinin yapılmasını sağlamaktadır. Beklenmeyen arızaları azaltmak/önlemek amacıyla belirli periyotlarda gerçekleştirilen bu bakım çalışmaları aynı zamanda, arıza maliyetlerini, makine kullanım ömrünü ve kaliteyi olumlu yönde etkileyebilmektedir.

4.3.4.2. İşgücü Eğitimi

Üretim sürecinde insan unsuruna verilen önem, işletmelerin rekabet avantajı sağlamasını mümkün kılmaktadır (Norman vd., 2002). Çalışanların seçimi ve eğitiminde, insan merkezli bir anlayış yalın üretim uygulamasının başarısı için kritik bir adımdır (Needy vd., 2001).

Emek yoğun sektörlerde hastalık gibi nedenlerle işe devamsızlık, nitelikli çalışan ihtiyacı, işgücünde devir gibi üretim süreci problemleri işletmeleri rekabet konusunda zora sokmaktadır. Çapraz eğitim, çalışanların birden fazla iş istasyonunda görev yapabilmeleri amacıyla sistematik bir şekilde verilen eğitimidir. Çapraz eğitim ile ekip üyeleri, belirli bir çalışma alanında birden çok görev ve sorumlulukları konusunda eğitilirler. Bu sayede çalışanlar farklı iş adımları üzerine bilgi sahibi olabilmektedir ve beklenmedik durumlarda işlerin aksamadan yürütülebilmesi amacıyla birbirlerinin yerini alabilmektedirler. Yalın üretim ortamlarında, çapraz eğitim genellikle değişen talebi karşılamada esnekliği artırmak, paylaşımlı bir sorumluluk duygusu oluşturmak, çalışanlar arasında iş yükünü dengelemek amacıyla çok yönlü becerilere ulaşmak için kullanılır (McDonald vd., 2009).

Yalın üretim, çapraz eğitilmiş çalışanların kullanımını gerekli kılmaktadır (Rother & Shook, 1999; Womack & Jones, 1994). Çapraz eğitim, iş rotasyonu politikaları uygulanarak geliştirilebilir ve güçlendirilebilir. İş rotasyonu, eğitim alınan farklı görevler arasında sistematik bir dönüşüm programı ile çalışanın farklı iş adımları arasındaki ilişkileri daha net görmesine olanak tanır. Bu da çapraz eğitilmiş çalışanın

kaliteyi iyileştirme yolunda sorunları daha erken bir aşamada tespit edip çözmesini mümkün kılmaktadır (Slomp & Molleman, 2002).

İşletmede hangi çalışana, hangi eğitimin, hangi seviyede verilmesi gerektiğini belirlemek için çalışanların mevcut seviyelerinin bilinmesi gerekmektedir. Çalışanların eğitim ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmaya ait yetenek matrisi sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.

Operatör	Tomruk arabası/çıksısı	Çoklu-dilime makinesi	Kurutma Fırını	Şerit dilime makinesi	Boyut-kesim makinesi	Taslak oluşturma	Çivileme makinesi	Taslak kesim	Freze	Profil makinesi	Baş kesme makinesi	Kalite muayene	Paketleme
A	■	■	□	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□
B	□	□	□	□	■	□	□	□	□	■	■	■	■
C	□	■	□	■	■	□	□	□	□	□	■	□	□
D	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
E	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
F	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	□	■	□
G	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	■	■	□
H	□	■	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□
i	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
J	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
K	□	■	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□
L	□	■	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□
M	□	□	□	□	□	□	□	■	■	□	■	□	□
N	□	□	□	□	□	□	■	■	■	□	□	■	□
O	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	■	■
P	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	■	□	□
R	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	■	□
S	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
T	□	■	□	□	■	□	□	□	□	□	□	■	□
U	□	□	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□
V	□	□	■	□	■	■	□	□	□	□	■	□	□
Y	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
Z	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
AB	□	■	□	□	■	□	□	□	□	□	■	□	□
AC	■	□	□	■	■	■	□	■	□	□	■	■	□
AD	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□
AE	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	□	■	■
AF	□	□	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□

□	Eğitimsiz	■	Asgari denetime sahip	■	Tam yetkili-Eğitim verebilir
■	Eğitimde-Gözetim altında çalışır	■	Bağımsız çalışır		

Şekil 10. İşletme Çalışanları Yetenek Matrisi

İşletme çalışanları yetenek matrisine göre tomruk arabası/bıçkısı, kurutma fırını, taslak oluşturma, paketlenme, freze ve profil makinesi gibi önemli alanlarında yeterli sayıda eğitimli operatör bulunmamaktadır. Tesiste, tomruk bıçkısında eğitimli 2 operatör bulunmaktadır. Ancak işletmede 2 vardiyada çalışıldığı için operatörlerden biri birinci vardiyada diğeri ikinci vardiyada görevlidir. Aynı durum kurutma fırını, paketlenme, freze ve profil makinesi için de geçerlidir. Hastalık, işe devamsızlık, işgücünde devir gibi beklenmedik durumlarda işletme ilgili operatör yerine çalışabilecek işletme dışından başka bir çalışan bulmak zorunda kalacaktır. İşletme dışından bu ihtiyacın giderilmesi durumunda dahi yeni çalışanın, ilgili makinenin sorumluluğunu alabilecek ve makineyi kullanabilecek beceride olması gerekmektedir. İşletmede bu durum göz önünde bulundurularak, ilgili alanlarda ihtiyaçlara yönelik eğitim programları düzenlenmelidir. Çapraz eğitim kapsamında, çok fonksiyonlu olma becerisi kazandırmak ve işgücü esnekliğini arttırmak amacıyla çalışanların öncelikle tomruk bıçkısı, kurutma fırını, taslak oluşturma, paketlenme, freze ve profil makinesi bölümlerindeki işleri öğrenmesi sağlanmalıdır. Bu sayede, işletmenin esnekliği ve verimliliği artacaktır. Kalifiye işgücü de çalışan özgüvenini ve motivasyonunu arttıracak ve emek yoğun sektörlerde sık sık karşılaşılan bir sorun olan işgücü devir hızını azaltacaktır. Çapraz eğitim ile çalışanların farklı iş adımları arasındaki ilişkileri daha net bir şekilde görmesi sağlanacak ve beklenmedik durumlarda işlerin aksamadan yürütülebilmesi amacıyla birbirlerinin yerini alabileceklerdir.

4.3.4.3. Kesim Planlaması

İşletmede üretim sürecinde boyutlama işlemi, üretim birimi tarafından ortaya konulmuş herhangi bir planlama kararı olmadan gerçekleştirilmektedir. Bu da üretim kayıplarına ve israflara neden olmaktadır. Bu kısımda hammadde israfının azaltılması, taslak oluşturma biriminde gözlemlenen gereksiz hareketlerin önlenmesi, üretim hızının artırılması, üretim hatalarının azaltılması ve kalitenin iyileştirilmesi amaçlarıyla ele alınan ve Bölüm 3'te tanımlanan karar destek modeli konu alınarak ürün ve talep çeşitliliği değişkenliklerinde sayısal analizler gerçekleştirilmiştir.

Vaka incelemesinde ilk olarak ayrıştırma algoritmasının hesaplama performansı matematiksel model ile kıyaslanmıştır. Daha sonra, vaka çalışmasına dayalı olarak birtakım sayısal analizler tasarlanarak üretim ve talep değişkenleri

doğrultusunda çözüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygulamanın endüstriyel etkileri tartışılmıştır. Matematiksel model, IBM ILOG CPLEX optimization studio sürüm 12.8.0.0 Constraint Programming (CP) optimizer ile çözülmüştür. Matematiksel modelin makul sonuçlarını elde etmek amacıyla çözüm süresi 10.800 CPU saniye ile sınırlandırılmıştır. Algoritmada tolerans 10^{-2} olarak ayarlanmıştır.

Üretim tesisinde 0,8 m'den 2 m'ye kadar değişen çaplarda ürün üretmek için kullanılan 2 m, 2,5 m, 3 m, 4 m ve 5 m standart boylardaki ara mamuller göz önünde tutulmuştur. Kesme operasyonları için kesim payı 0,02 m olarak kabul edilmektedir. Her çap ölçüsünde 100 adet ürün üretmek amacıyla önerilen yaklaşımların elde edilen sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Matematiksel Model ile Ayırıştırma Algoritmasının Karşılaştırmalı Sonuçları

Ürün Çapı (m)	Matematiksel Model (10800 CPU sn)		Ayırıştırma Algoritması			Tasarruf	
	Kullanılan Miktar (m)	Fire (m)	Kullanılan Miktar (m)	Fire (m)	Süre	Miktar (%)	Fire (%)
0,8	3250	1280	2050	18	00:00:05:11	36,9	98,6
0,9	4350	2070	2300	20	00:00:05:32	47,1	99,0
1,0	3850	1330	2550	30	00:00:03:12	33,8	97,7
1,1	4600	1832	2800	32	00:00:05:12	39,1	98,2
1,2	5450	1642	3850	42	00:00:25:20	29,4	98,3
1,3	5850	1730	4150	30	00:00:03:34	29,1	98,2
1,4	6300	1868	4500	68	00:00:21:05	28,6	96,1
1,5	6200	1456	4800	56	00:00:03:49	22,6	97,0
1,6	7300	1212	6200	112	00:00:16:95	15,1	92,3
1,7	8600	2136	6550	86	00:00:05:83	23,8	96,0
1,8	9000	2160	6950	110	00:00:06:69	22,8	94,9
1,9	-	-	8700	268	00:06:28:45	-	-
2,0	-	-	9000	136	00:00:39:39	-	-

(-) sembolü, zaman sınırı içerisinde herhangi bir uygulanabilir sonuca ulaşamadığını ifade etmektedir

Elde edilen sonuçlara göre, ayrıştırma algoritması her üründe on dakikadan az sürede sonuca ulaşarak matematiksel modelin hesaplama yükünü kayda değer düzeyde azaltmıştır. Kullanılan hammaddeden yapılan tasarruflar incelendiğinde, ayrıştırma algoritması 100 adet ürün üretiminde %15,1 ila %47,1 arasında tasarruf sağlamıştır. Fire miktarları, kullanılan toplam hammadde miktarı ile müşteriye sunulan üründe kullanılan toplam hammadde arasındaki farkı temsil etmektedir. Buna göre fire miktarlarında ayrıştırma algoritması ile %92,3 ila %99 arasında tasarruf sağlanmıştır.

Ayrıştırma algoritmasının gerçek hayat problemlerinde uygulanabilirliğini test etmek amacıyla ürün ve talep çeşitliliği değişkenliklerinde sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Rasgele oluşturulan kapasite yükü senaryolarında, kısa vadeli planlama (1 hafta) dikkate alınmıştır. Rasgele oluşturulan haftalık talepler 5 işgünü için oluşturulmuştur ve talepler üretim miktarına eşit alınmıştır. Bununla birlikte, ortalama iş yükü yılın zamanına bağlı olarak daha düşük veya daha yüksek olabilmektedir. Bu da ortalama iş yükünü mevcut toplam üretim kapasitesinin sırasıyla %50, %70 ve %90'ı olarak varsayan üç senaryo tarafından yansıtılmıştır. Toplam üretim kapasitesi günde 1000 adet olarak sabitlenmiştir ve her iş günü için belirlenen kapasite yükü ile çarpılmıştır. Tesiste ürünler küçük, orta ve büyük boyutlu olmak üzere 3 boyutta sınıflandırılmaktadır. 0,8-1,0 m çapındaki ürünler küçük boyutlu; 1,1-1,5 m çapındaki ürünler orta boyutlu ve 1,6-2,0 m çapındaki ürünler büyük boyutlu ürünler olarak sınıflandırılmaktadır. Talepler, her bir tür ürün sınıfı için rastgele oluşturulmuştur. Tablo 11, Tablo 12 ve Tablo 13 rasgele oluşturulan talep verilerinde elde edilen sonuçları göstermektedir.

Tablo 11. %50 Kapasite Yükünde Ulaşılan Sonuçlar

Ürün sınıfı ve sonuç türü	Her bir iş günü için üretim miktarı					Toplam
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	
<i>Küçük boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	400 adet (Ø0,8m)*	500 adet (Ø1,0m)	300 adet (Ø0,8m)	400 adet (Ø1,0m)	300 adet (Ø1,0m)	
Orta boyut	100 adet (Ø1,5m)	-	-	-	100 adet (Ø1,5m)	
Büyük boyut	-	-	200 adet (Ø1,8m)	100 adet (Ø1,9m)	100 adet (Ø1,9m)	
Kesilecek malzeme miktarı	12950m	12700m	20100m	18850m	21100m	85700m
Atık miktarı	78m	100m	324m	338m	364m	1204m
Çözüm zamanı	00:00:13:12	00:00:06:12	00:00:13:07	00:00:19:06	00:03:27:55	

Tablo 11. %50 Kapasite Yükünde Ulaşılan Sonuçlar (Devamı)

Ürün sınıfı ve sonuç türü	Her bir iş günü için üretim miktarı					Toplam
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	
<i>Orta boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	200 adet (Ø0,8m)	-	-	100 adet (Ø1,0m)	100 adet (Ø1,0m)	
Orta boyut	300 adet (Ø1,4m)	300 adet (Ø1,5m)	400 adet (Ø1,3m)	300 adet (Ø1,3m)	400 adet (Ø1,3m)	
Büyük boyut	-	200 adet (Ø1,6m)	100 adet (Ø1,9m)	100 adet (Ø1,8m)	-	
Kesilecek malzeme miktarı	17550m	26800m	25250m	21900m	19150m	110650m
Atık miktarı	190m	292m	338m	180m	150m	1150m
Çözüm zamanı	00:02:24:54	00:00:16:42	00:00:28:61	00:00:37:63	00:00:14:61	
<i>Büyük boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	-	100 adet (Ø0,8m)	-	-	100 adet (Ø0,8m)	
Orta boyut	-	-	100 adet (Ø1,3m)	200 adet (Ø1,2m)	100 adet (Ø1,5m)	
Büyük boyut	500 adet (Ø2,0m)	400 adet (Ø1,8m)	400 adet (Ø1,7m)	300 adet (Ø1,9m)	300 adet (Ø1,7m)	
Kesilecek malzeme miktarı	45200m	29950m	30300m	41350m	34050m	180850m
Atık miktarı	880m	558m	324m	878m	322m	2962m
Çözüm zamanı	00:00:07:73	00:00:08:82	00:00:16:53	00:02:05:73	00:02:08:16	
Toplam kesilecek malzeme miktarı						270250m
Toplam atık miktarı						6866m

*0,8 m çapında 400 adet ürün

Küçük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda (%50 kapasite yükünde), talebi karşılamak amacıyla toplam 85700 m ara mamul kullanılmış ve 1204 m kayıp hesaplanmıştır. Buna göre kullanılan ara mamul miktarının atık miktarı ile oranlanmasıyla kaybın %1,4 olduğu belirlenmiştir. %50 kapasite yükünde orta boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda, talebi karşılamak amacıyla toplam 110650 m ara mamul kullanılmış ve atık miktarı 1150 m olarak belirlenmiştir. Bu durumda kayıp %1,04'tür. Büyük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda 180850 m ara mamul kullanımına karşılık 2962 m atık miktarı bulunmuş ve kayıp %1,64 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 12'de %70 kapasite yükünde küçük, orta ve büyük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumlarda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 12. %70 Kapasite Yükünde Ulaşılan Sonuçlar

Ürün sınıfı ve sonuç türü	Her bir iş günü için üretim miktarı					Toplam
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	
<i>Küçük boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	600 adet (Ø0,9m)*	700 adet (Ø0,9m)	400 adet (Ø0,8m)	500 adet (Ø0,9m)	600 adet (Ø0,9m)	
Orta boyut	-	-	-	100 adet (Ø1,2m)	100 adet (Ø1,4m)	
Büyük boyut	100 adet (Ø1,9m)	-	300 adet (Ø2,0m)	100 adet (Ø2,0m)	-	
Kesilecek malzeme miktarı	22500m	16100m	35150m	24400m	18300m	116450m
Atık miktarı	388m	140m	430m	328m	188m	1474m
Çözüm zamanı	00:00:08:28	00:00:16:21	00:00:16:07	00:02:20:58	00:00:14:41	
<i>Orta boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	100 adet (Ø1,0m)	-	200 adet (Ø0,8m)	-	-	
Orta boyut	600 adet (Ø1,5m)	700 adet (Ø1,2m)	500 adet (Ø1,3m)	600 adet (Ø1,4m)	500 adet (Ø1,3m)	
Büyük boyut	-	-	-	100 adet (Ø1,8m)	200 adet (Ø1,8m)	
Kesilecek malzeme miktarı	31350m	27000m	24900m	33850m	34650m	151750m
Atık miktarı	366m	344m	236m	418m	370m	1734m
Çözüm zamanı	00:02:24:54	00:00:19:12	00:00:11:18	00:03:49:12	00:00:32:62	
<i>Büyük boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	-	100 adet (Ø0,9m)	-	200 adet (Ø0,8m)	-	
Orta boyut	100 adet (Ø1,5m)	100 adet (Ø1,4m)	100 adet (Ø1,3m)	-	-	
Büyük boyut	600 adet (Ø1,6m)	500 adet (Ø1,6m)	600 adet (Ø1,9m)	600 adet (Ø1,7m)	700 adet (Ø1,8m)	
Kesilecek malzeme miktarı	42000m	37850m	56550m	41350m	49800m	227550m
Atık miktarı	728m	698m	1838m	534m	1920m	5718m
Çözüm zamanı	00:00:39:54	00:00:11:94	00:00:14:61	00:00:07:61	00:00:08:74	
Toplam kesilecek malzeme miktarı						377200m
Toplam atık miktarı						5316m

*0,9m çapında 600 adet ürün

Küçük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda 116450 m ara mamul kullanımına karşılık 1474 m atık miktarı bulunmuş ve kayıp %1,27 olarak hesaplanmıştır. Orta boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda talebi karşılamak amacıyla toplam 151750 m ara mamul kullanılmış ve atık miktarı 1734 m olarak belirlenmiştir. Kayıp oranı ise %1,14 olarak hesaplanmıştır. Büyük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda ise 227550 m ara mamul kullanımına karşılık 5718 m atık miktarı bulunmuş ve kayıp %2,51 olarak hesaplanmıştır.

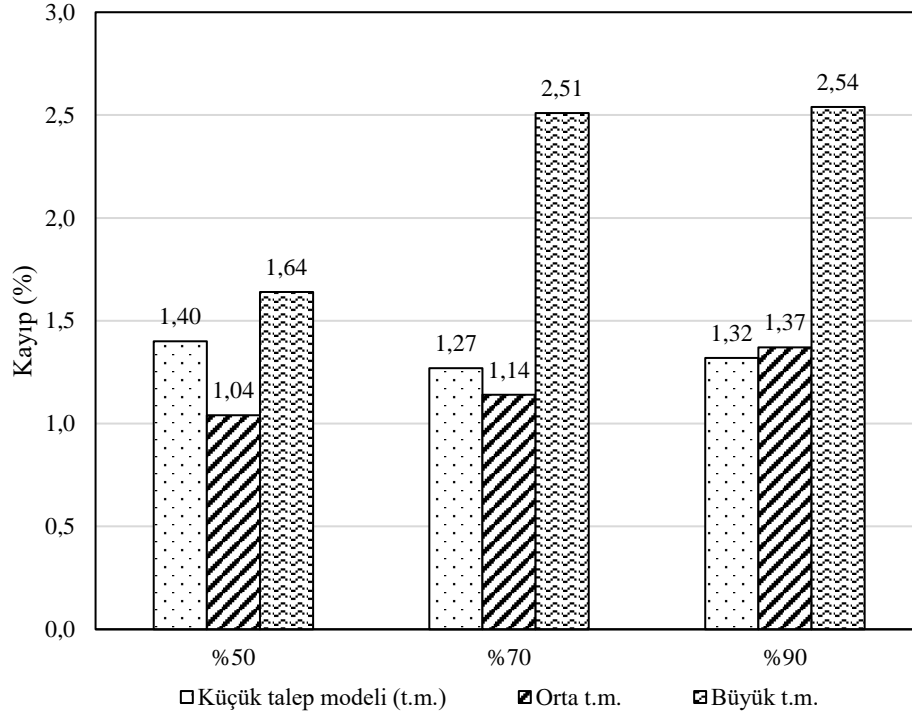
Tablo 13. %90 Kapasite Yükünde Ulaşılan Sonuçlar

Ürün sınıfı ve sonuç türü	Her bir iş günü için üretim miktarı					Toplam
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	
<i>Küçük boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	900 adet (Ø0,8m)*	500 adet (Ø0,8m)	700 adet (Ø1,0m)	800 adet (Ø1,0m)	800 adet (Ø0,8m)	
Orta boyut	-	300 adet (Ø1,1m)	-	-	100 adet (Ø1,3m)	
Büyük boyut	-	100 adet (Ø1,9m)	200 adet (Ø1,9m)	100 adet (Ø1,6m)	-	
Kesilecek malzeme miktarı	18500m	27300m	35200m	26500m	20500m	128000m
Atık miktarı	212m	404m	696m	252m	124m	1688m
Çözüm zamanı	00:00:23:90	00:00:36:55	00:00:17:73	00:00:28:66	00:00:10:33	
<i>Orta boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	100 adet (Ø0,9m)	300 adet (Ø1,0m)	-	200 adet (Ø0,8m)	200 adet (Ø0,8m)	
Orta boyut	800 adet (Ø1,2m)	500 adet (Ø1,2m)	600 adet (Ø1,1m)	600 adet (Ø1,1m)	700 adet (Ø1,5m)	
Büyük boyut	-	100 adet (Ø1,6m)	300 adet (Ø1,8m)	100 adet (Ø1,6m)	-	
Kesilecek malzeme miktarı	33200m	33150m	37750m	27100m	37700m	168900m
Atık miktarı	456m	462m	622m	340m	428m	2308m
Çözüm zamanı	00:00:40:25	00:02:01:07	00:00:26:04	00:00:31:03	00:04:09:99	
<i>Büyük boyut talebinin ağırlıklı olduğu talep planlaması</i>						
Küçük boyut	100 adet (Ø0,9m)	-	-	-	300 adet (Ø0,9m)	
Orta boyut	100 adet (Ø1,4m)	400 adet (Ø1,1m)	300 adet (Ø1,1m)	200 adet (Ø1,5m)	100 adet (Ø1,1m)	
Büyük boyut	700 adet (Ø1,8m)	500 adet (Ø1,9m)	600 adet (Ø1,9m)	700 adet (Ø1,7m)	500 adet (Ø1,7m)	
Kesilecek malzeme miktarı	56700m	54700m	60400m	56000m	42450m	270250m
Atık miktarı	2108m	1468m	1504m	1264m	522m	6866m
Çözüm zamanı	00:00:31:10	00:00:22:43	00:00:27:40	00:00:60:09	00:00:31:30	
Toplam kesilecek malzeme miktarı						567150m
Toplam atık miktarı						10862m

*0,8m çapında 900 adet ürün

Tablo 13'te %90 kapasite yükünde küçük, orta ve büyük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumlarda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Küçük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda 128000 m ara mamul kullanımına karşılık 1688 m atık miktarı bulunmuş ve kayıp %1,32 olarak hesaplanmıştır. Orta boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda talebi karşılamak amacıyla toplam 168900 m ara mamul kullanılmış ve atık miktarı 2308 m olarak belirlenmiştir. Kayıp oranı ise %1,37 olarak hesaplanmıştır. Büyük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu durumda ise 270250 m ara mamul kullanımına karşılık 6866 m atık miktarı bulunmuş ve kayıp %2,54 olarak hesaplanmıştır. Farklı kapasite yüklerine ve talep modellerine sahip sayısal sonuçlar,

ayrıştırma algoritmasının ilgili problemleri makul bir süre içerisinde çözebildiğini göstermektedir.



Şekil 11. Hammadde Kaybının Kapasite Yük Senaryolarına Göre Değişimi

Şekil 11’de kaybın kapasite yük senaryolarına göre değişimi verilmiştir. Büyük boyut ürün talebinin ağırlıklı olduğu talep modellerinde, standart uzunluklardaki yarı mamullerden büyük parçaların seçimi daha kısıtlı olması nedeniyle hammadde kaybı artmaktadır. Her bir talep ve kapasite yükü senaryolarında kayıp %2,54’ten azdır. Kaybın makul seviyede olması, önerilen yaklaşımın hammadde kaybını önemli miktarda azaltarak hammadde kullanımına bağlı maliyetlerden tasarruf sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca üretim sürecinde alınan planlama kararları ile kesim ve kurulum süresinin ve stokların azaltılması, hatalı üretim ve ıskartaların minimuma indirilmesi mümkün olmaktadır.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Günümüz rekabet ortamında işletmeler varlıklarını sürdürebilmek amacıyla sürekli iyileştirme prensibini benimsemek zorundadır. Üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde mevcut durumda gerçekleştirilen ve büyük miktarlarda yatırım gerektirmeyen küçük çaplı iyileştirme çalışmaları ile beklenenden daha fazla kazanım elde etmek mümkün olabilmektedir. Yalın üretim araçları maliyetlerini, kalitelerini ve performanslarını iyileştirmek isteyen işletmeler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın uygulama bölümünde, siparişlerini zamanında hazırlamada güçlük çeken, hammadde kaybına dayalı maliyetleri yüksek olan, üretim hataları ve yüksek düzeyde ara mamul stoku gibi sorunları bulunan bir işletmede yalın üretime geçiş yolunda israf kaynaklarının tespit edilmesini sağlayan değer akış haritalama yönteminden yararlanılmıştır. İlk olarak işletmede makara diski üretim süreci incelenmiş ve mevcut durum değer akış haritası oluşturulmuştur. Daha sonra, israf kaynakları belirlenerek bu israfların azaltılmasına/önlenmesine yönelik iyileştirme önerileri geliştirilmiş ve gelecek durum değer akış haritası oluşturulmuştur.

Mevcut durum analizi sonucu işletmede, üretim sürecinde rasyonel bir planlama kararının bulunmamasının kurulum süresinin ve ara stokların artmasına, hatalı ürün üretimine, ıskartalara, hareket israfına, hammadde kaybına ve kesim süresinin uzamasına neden olduğu belirlenmiştir. Mevcut durumda kayıp yaşanan diğer noktalar ise makine ve teçhizatın bakımı/onarımı için herhangi operasyonel bir sistemin olmaması ve çalışanların eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi üzerine bir planlamanın bulunmamasıdır. Tesiste, yalın üretim yolunda toplam üretken bakım, kesim planlama ve işgücü eğitimi ile ilgili iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Gelecek durum değer akış haritası ise bu çalışmaların getirileri ile ulaşılabilecek noktayı temsil edecek şekilde oluşturulmuştur.

Örnek vaka uygulaması ile kablo makarası sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin üretim süreçlerinde gözlemlenebilecek israf kaynakları belirlenmiştir. İyileştirme çalışmalarında işlem süresinin kısaltılması, hammadde kaybının azaltılması, yarı mamul stok düzeyinin düşürülmesi, üretim hatalarının azaltılması, üretim akışını olumsuz etkileyen faktörlerin ortadan kaldırılması ve kalitenin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Toplam üretken bakım anlayışı, işletmede makine ve

teçhizatın bakımı için operasyonel bir sistem oluşturmaktadır. Bu da beklenmedik arızaları olabildiğince önleyerek üretim aksamalarını azaltmaktadır. Vaka analizine konu olan işletme bir emek yoğun işletmedir. İşe devamsızlık ve işgücünde devir gibi durumlar üretim sürecini zora sokmaktadır. İşgücü eğitimi aracılığıyla çalışanların farklı iş adımları arasındaki ilişkileri daha net bir şekilde görmesi sağlanacak ve beklenmedik durumlarda işlerin aksamadan yürütülebilmesi amacıyla birbirlerinin yerini alabileceklerdir. Üretimde kullanılan ahşap yenilenebilir bir hammaddedir ve sınırlı doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Hammadde atıkları, ahşap ürünleri endüstrisi için önemli bir sürdürülebilirlik sorunu durumundadır. Üretimde oluşan hammadde atıklarının yüksek düzeyde olması üretim performansında verimsizlik anlamına gelmektedir. Ayrıca, yetersiz planlama kararları üretim sürecinde uzun onarım süresi gerektiren üretim hatalarına ve ıskartalara neden olabilmektedir. Gerçekleştirilen kesim planlaması yaklaşımı ile üretimde önemli miktarda malzeme, zaman, ıskarta ve maliyetten tasarruf etmek mümkün olmuştur.

İyileştirme faaliyetleri ile hammadde kullanımına bağlı maliyetlerden tasarruf, üretim akış süresi ve işlem süresinde kısalma, geciken teslimatlarda azalma, stoklarda azalma, hatalı üretim ve ıskartalarda iyileşme gibi kazanımlar elde edilebilmektedir. Oluşturulan karar destek modeli konu alınarak kurulan çeşitli talep yükü senaryolarında hammadde kaybının %2,54'ten az olduğu tespit edilmiştir. Bu da önerilen yaklaşım ile hammadde kaybının önemli miktarda azaltılarak hammadde kullanımına bağlı maliyetlerden tasarruf sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca üretim sürecinde kesim planlaması üzerine alınan karar ile hatalı üretim ve ıskartaların azaltılması mümkün olmaktadır. Değer akış haritası gelecek durum senaryosunda, iyileştirme faaliyetleri ile 1,8 gün süren üretim akış süresi %44,44 oranında azalarak 1 güne düşürülmüştür. Ayrıca gelecek durum senaryosunda, 368,23 saniye süren işlem süresi 265,90 saniyeye düşürülerek iyileştirme faaliyetleri ile %27,78 oranında azalma sağlanacağı tespit edilmiştir. Buna göre kesim planlaması, toplam üretken bakım ve iş gücü eğitimi çalışmaları ile kesim süreci işlem süresinden 0,33 sn, taslak oluşturma işlem süresinden 48 sn, CNC işleme birimi işlem süresinden 26,6 sn ve paketleme süreci işlem süresinden 27,4 sn tasarruf etmek mümkün hale gelmiştir.

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde ahşap kablo makarası üretimi üzerine gerçekleştirilmiş bir değer akış haritalama araştırmasına rastlanmamıştır. Bu nedenle ilgili çalışmanın bilime ve ahşap sektöründe faaliyet gösteren işletmelere katkı

sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, belirtilen kısıtlar ve varsayımlar altında israfların azaltılmasına/önlenmesine yönelik önerilen iyileştirme çalışmaları ilgili sektörde faaliyet gösteren işletmelere rehber olma niteliği taşımaktadır. Ancak, yalın üretim çalışmaları süreklilik arz eden faaliyetlerdir. Dolayısıyla belirtilen iyileştirme faaliyetleri israfların veya diğer problemlerin tamamının süreklilik arz edecek şekilde çözüldüğü anlamı taşımamaktadır. Bu noktada işletmelerde sürekli iyileştirme faaliyetlerine devam edilmeli ve rekabet avantajı kaybedilmemelidir. Gelecek çalışmalar için 5S uygulaması gibi farklı iyileştirmeler yapılarak üretim akış süresi ve işlem süresi daha da kısaltılabilir. Çalışmanın sürdürülebilirliği açısından çalışanlara iyileştirme konuları ve yalın üretim anlayışına yönelik eğitimler verilebilir. Süreç aşamaları daha da detaylandırılarak iyileştirmelerin arttırılabileceği öngörülmektedir. Ayrıca yeni iyileştirme alanlarının tespiti için değer akış haritasının sürekli olarak güncellenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdulmaged, A. (2009). *İş yeri düzenlemesinde 5S yaklaşımı ve derin kuyu pompası imal eden bir işletmede bir uygulama*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223–236.
- Acharyaa, T. K. (2011). Material Handling and Process Improvement Using Lean Manufacturing Principles. *International Journal of Industrial Engineering*, 18(7), 357–368.
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709–756.
- Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S., & Choudhary, R. (2006). Improved organizational behavior through strategic total productive maintenance implementation. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (Vol. 47748, pp. 91–98).
- Akın, N. G. (2020). Değer Akış Haritalama Yöntemi İle Yalın Uygulamalar: Tekstil Sektörü Örneği. *Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi*, 4(2), 477–492.
- Alem, D. J., Munari, P. A., Arenales, M. N., & Ferreira, P. A. V. (2010). On the cutting stock problem under stochastic demand. *Annals of Operations Research*, 179(1), 169–186. <https://doi.org/10.1007/s10479-008-0454-7>
- Aliano Filho, A., Moretti, A. C., & Pato, M. V. (2017). A comparative study of exact methods for the bi-objective integer one-dimensional cutting stock problem. *Journal of the Operational Research Society*, 1–18.
- Allwood, J. M., & Lee, W. L. (2004). The impact of job rotation on problem solving skills. *International Journal of Production Research*, 42(5), 865–881.

<https://doi.org/10.1080/00207540310001631566>

- Aloisio, A., Arbib, C., & Marinelli, F. (2011). Cutting stock with no three parts per pattern: Work-in-process and pattern minimization. *Discrete Optimization*, 8(2), 315–332. <https://doi.org/10.1016/j.disopt.2010.10.002>
- Alzubi, E., Atieh, A. M., Abu Shgair, K., Damiani, J., Sunna, S., & Madi, A. (2019). Hybrid integrations of value stream mapping, theory of constraints and simulation: Application to wooden furniture industry. *Processes*, 7(11), 816. <https://doi.org/10.3390/pr7110816>
- Andrade, R., Birgin, E. G., & Morabito, R. (2016). Two-stage two-dimensional guillotine cutting stock problems with usable leftover. *International Transactions in Operational Research*, 23(1–2), 121–145. <https://doi.org/10.1111/itor.12077>
- Aouag, H., Soltani, M., & Mouss, M. D. (2020). Enhancement of value stream mapping application process through using fuzzy DEMATEL and fuzzy QFD approaches: a case study considering economic and environmental perspectives. *Journal of Modelling in Management*. <https://doi.org/10.1108/JM2-01-2020-0007>
- Araujo, S. A., Constantino, A. A., & Poldi, K. C. (2011). An evolutionary algorithm for the one-dimensional cutting stock problem. *International Transactions in Operational Research*, 18(1), 115–127. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2009.00760.x>
- Arbib, C., Marinelli, F., & Ventura, P. (2016). One-dimensional cutting stock with a limited number of open stacks: Bounds and solutions from a new integer linear programming model. *International Transactions in Operational Research*, 23(1–2), 47–63. <https://doi.org/10.1111/itor.12134>
- Barber, C. S., & Tietje, B. C. (2008). A research agenda for value stream mapping the sales process. *Journal of Personal Selling & Sales Management*, 28(2), 155–165.
- Başak, E. E., Yılmaz, İ. S., & Deniz, N. (2019). Endüstriyel Ürün İmalatı Yapan Bir İşletmede Yalın Üretim Uygulaması. *Journal of Industrial Engineering*, 30(3), 157–172.
- Basu, R. (2001). Six sigma to fit sigma. *IIE Solutions*, 33(7), 28.

- Belokar, R. M., Kumar, V., & Kharb, S. S. (2012). An application of value stream mapping in automotive industry: a case study. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 1(2), 152–157.
- Berberler, M. E., Nuriyev, U., & Yildirim, A. (2011). A software for the one-dimensional cutting stock problem. *Journal of King Saud University - Science*, 23(1), 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.06.009>
- Bhadury, B. (2000). Management of productivity through TPM. *Productivity*, 41(2), 240–251.
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876–940. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Bouaine, A., Lebbar, M., & Ha, M. A. (2018). Minimization of the wood wastes for an industry of furnishing: A two dimensional cutting stock problem. *Management and Production Engineering Review*, 9(2), 42–51. <https://doi.org/10.24425/119524>
- Braglia, M., Carmignani, G., & Zammori, F. (2006). A new value stream mapping approach for complex production systems. *International Journal of Production Research*, 44(18–19), 3929–3952.
- Brown, C. B., Collins, T. R., & McCombs, E. L. (2006). Transformation from batch to lean manufacturing: The performance issues. *Engineering Management Journal*, 18(2), 3–14.
- Burton, T. T. (2014). *A history of lean and continuous improvement*. The Center for Excellence and Operations, Inc.
- Busert, T., & Fay, A. (2020). Information quality focused value stream mapping for the coordination and control of production processes. *International Journal of Production Research*, 0(0), 1–21.
- Çanakçıoğlu, M. (2019). Yalın Düşünce Felsefesinde İsrarla Mücadele Araçları. *Social Sciences Research Journal*, 8(3), 270–282.

- Cardinali, R. (2001). Waste management: a missing element in strategic planning. *Work Study*, 50(5), 197–201.
- Carlborg, P., Kindström, D., & Kowalkowski, C. (2013). A lean approach for service productivity improvements: synergy or oxymoron? *Managing Service Quality: An International Journal*, 23(4), 291–304. <https://doi.org/10.1108/MSQ-04-2013-0052>
- Çelenk, O., Topoyan, M., & Özçelik Kaynak, K. (2019). Yalın Düşünce Bakış Açısıyla Acil Servis İş Akışlarının Değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül University Journal of Graduate School of Social Sciences*, 21(2), 585–604.
- Chandrasekaran, M., Kannan, S., & Pandiaraj, P. (2008). Quality improvement in automobile assembly production line by using Kaizen. *Manufacturing Technology Today*, 7(3), 33–38.
- Chen, C., Sarin, S., & Ram, B. (1991). The pallet packing problem for non-uniform box sizes. *International Journal of Production Research*, 29(10), 1963–1968. <https://doi.org/10.1080/00207549108948061>
- Chen, J. C., Cheng, C.-H., & Huang, P. B. (2013). Supply chain management with lean production and RFID application: A case study. *Expert Systems with Applications*, 40(9), 3389–3397.
- Chong, M. Y., Prakash, J., Ng, S. L., Ramli, R., & Chin, J. F. (2013). Parallel Kanban-Conwip System For Batch Production In Electronics Assembly. *International Journal of Industrial Engineering*, 20(7–8), 468–486.
- Čiarnienė, R., & Vienažindienė, M. (2012). Lean Manufacturing: Theory and Practice. *Economics and Management*, 17(2), 726–732.
- Cui, Y. (2012). A CAM system for one-dimensional stock cutting. *Advances in Engineering Software*, 47(1), 7–16.
- Cui, Y., Cui, Y. P., & Yang, L. (2014). Heuristic for the two-dimensional arbitrary stock-size cutting stock problem. *Computers and Industrial Engineering*, 78, 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.009>

- Cui, Y., & Xu, D. (2010). Strips minimization in two-dimensional cutting stock of circular items. *Computers and Operations Research*, 37(4), 621–629. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.06.005>
- Cui, Y., & Zhao, Z. (2013). Heuristic for the rectangular two-dimensional single stock size cutting stock problem with two-staged patterns. *European Journal of Operational Research*, 231(2), 288–298.
- D'amours, S., Rönnqvist, M., & Weintraub, A. (2008). Using operational research for supply chain planning in the forest products industry. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 46(4), 265–281.
- Dadashnejad, A. A., & Valmohammadi, C. (2019). Investigating the effect of value stream mapping on overall equipment effectiveness: a case study. *Total Quality Management and Business Excellence*, 30(3–4), 466–482.
- de Souza Melaré, A. V., González, S. M., Faceli, K., & Casadei, V. (2017). Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. *Waste Management*, 59, 567–584.
- Dillon, A. P., & Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: the SMED system*. CRC Press.
- Doğan, N. Ö., & Kama, A. (2021). Tedarik zincirinde değer katmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılması : İmalat sektöründe bir değer akış haritalama uygulaması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 91–99. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.590637>
- Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 36(1), 95–102.
- Ebeling, A. C., & Lee, C.-Y. (1994). Cross-training effectiveness and profitability. *The International Journal of Production Research*, 32(12), 2843–2859.
- Enroth, M., & Zackrisson, M. (2000). Environmental management systems—paper tiger or powerful tool. In *2000 Eco-Management and Auditing Conference. June 2000. University of Manchester. UK* (pp. 81–92).

- Eroglu, C., & Hofer, C. (2011). Lean, leaner, too lean? The inventory-performance link revisited. *Journal of Operations Management*, 29(4), 356–369.
- FAO, (Food and Agriculture Organisation of the United Nations). (2020). The Potential Use of Residues for Energy Generation. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/t0269e/t0269e08.htm>
- Furini, F., & Malaguti, E. (2013). Models for the two-dimensional two-stage cutting stock problem with multiple stock size. *Computers and Operations Research*, 40(8), 1953–1962. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.02.026>
- Gasimov, R. N., Sipahioglu, A., & Saraç, T. (2007). A multi-objective programming approach to 1.5-dimensional assortment problem. *European Journal of Operational Research*, 179(1), 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.03.016>
- Gerring, J. (2004). What is a case study and what is it good for? *American Political Science Review*, 98(2), 341–354.
- Goriwondo, W. M., Mhlanga, S., & Marecha, A. (2011). Use of the value stream mapping tool for waste reduction in manufacturing. Case study for bread manufacturing in Zimbabwe. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Industrial*. Citeseer.
- Goshime, Y., Kitaw, D., & Jilcha, K. (2019). Lean manufacturing as a vehicle for improving productivity and customer satisfaction: A literature review on metals and engineering industries. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(2), 691–714. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2017-0063>
- Guner Goren, H. (2017). Value stream mapping and simulation for lean manufacturing: A case study in furniture industry. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(4), 462–469.
- Gunn, E. (2009). Some perspectives on strategic forest management models and the forest products supply chain. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 47(3), 261–272.
- Guo, W., Jiang, P., Xu, L., & Peng, G. (2019). Integration of value stream mapping with DMAIC for concurrent Lean-Kaizen: A case study on an air-conditioner

- assembly line. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), 1–17.
<https://doi.org/10.1177/1687814019827115>
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2013). A literature review of lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), 241–249.
- Ha, J., & Yeo, M. K. (2018). The environmental effects of microplastics on aquatic ecosystems. *Molecular and Cellular Toxicology*, 14(4), 353–359.
<https://doi.org/10.1007/s13273-018-0039-8>
- Hedlund, C., Stenmark, P., Noaksson, E., & Lilja, J. (2020). More value from fewer resources: how to expand value stream mapping with ideas from circular economy. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 12(4), 447–459.
<https://doi.org/10.1108/IJQSS-05-2019-0070>
- Heravi, G., & Firoozi, M. (2017). Production process improvement of buildings' prefabricated steel frames using value stream mapping. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(9–12), 3307–3321.
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46–64.
- Hines, P., Rich, N., & Esain, A. (1999). Value stream mapping: A distribution industry application. *Benchmarking: An International Journal*, 6(1), 60–77.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437.
- IPPC, (FAO). (2013). Regulation of Wood Packaging Material in International Trade. International Standards for Phytosanitary Measures 15. International Plant Protection Convention of the Food and Agricultural Organization.
- Jia, S., Yuan, Q., Lv, J., Liu, Y., Ren, D., & Zhang, Z. (2017). Therblig-embedded value stream mapping method for lean energy machining. *Energy*, 138, 1081–1098. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.120>
- Jones, D. T., & Womack, J. P. (2016). The evolution of lean thinking and practice. *The*

Routledge Companion to Lean Management, 8, 3.

- Kallrath, J., Rebennack, S., Kallrath, J., & Kusche, R. (2014). Solving real-world cutting stock-problems in the paper industry: Mathematical approaches, experience and challenges. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 374–389. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.027>
- Karim, A., & Arif-Uz-Zaman, K. (2013). A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. *Business Process Management Journal*, 19(1), 169–196.
- Kennedy, G. J., & Martins, J. R. R. A. (2012). A regularized discrete laminate parametrization technique with applications towing-box design optimization. *Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, (April).
- Khanchanapong, T., Prajogo, D., Sohal, A. S., Cooper, B. K., Yeung, A. C. L., & Cheng, T. C. E. (2014). The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance. *International Journal of Production Economics*, 153, 191–203.
- Kilpatrick, J. (2003). Lean principles. *Utah Manufacturing Extension Partnership*, 68(1), 1–5.
- Kiwiel, K. C. (2010). An inexact bundle approach to cutting-stock problems. *INFORMS Journal on Computing*, 22(1), 131–143.
- Kokten, E. S., & Sel, Ç. (2020a). A cutting stock problem in the wood products industry: a two-stage solution approach. *International Transactions in Operational Research*, 00, 1–29. <https://doi.org/10.1111/itor.12802>
- Kokten, E. S., & Sel, Ç. (2020b). Ahşap Makara Üretiminde Kereste Boyutlarının Belirlenmesi: Hammadde Kaybını Azaltan Bir Karar Destek Modeli. *Verimlilik Dergisi*, (2), 145–155.
- Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006). Implementing the Lean Sigma framework in an Indian SME: a case study. *Production Planning and Control*, 17(4), 407–423.

- Kumar, R., & Kumar, V. (2012). Lean manufacturing: elements and its benefits for manufacturing industry. *Group*, 16, 27.
- Kurdve, M., Shahbazi, S., Wendin, M., Bengtsson, C., & Wiktorsson, M. (2015). Waste flow mapping to improve sustainability of waste management: a case study approach. *Journal of Cleaner Production*, 98, 304–315.
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720.
- Landscheidt, S., & Kans, M. (2019). Evaluating factory of the future principles for the wood products industry: Three case studies. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 1394–1401. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.149>
- Lin, T.-H. (2004). *Study and analysis of value stream for Yesco production*. UNLV Retrospective Theses & Dissertations.
- Liu, Q., & Yang, H. (2020). An Improved Value Stream Mapping to Prioritize Lean Optimization Scenarios Using Simulation and Multiple-Attribute Decision-Making Method. *IEEE Access*, 8, 204914–204930.
- Lugert, A., Batz, A., & Winkler, H. (2018). Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(5), 886–906.
- Luz, G. P., Tortorella, G. L., Bouzon, M., Garza-Reyes, J., & Gaiardelli, P. (2020). Proposition of a method for stochastic analysis of value streams. *Production Planning and Control*, 0(0), 1–17.
- Luz, G. P., Tortorella, G. L., Narayanamurthy, G., Gaiardelli, P., & Sawhney, R. (2021). A systematic literature review on the stochastic analysis of value streams. *Production Planning and Control*, 32(2), 121–131.
- Macedo, R., Alves, C., & Valério de Carvalho, J. M. (2010). Arc-flow model for the two-dimensional guillotine cutting stock problem. *Computers and Operations Research*, 37(6), 991–1001. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.08.005>

- McDonald, T., Ellis, K. P., Van Aken, E. M., & Patrick Koelling, C. (2009). Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell. *International Journal of Production Research*, 47(9), 2427–2447.
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673.
- Midilli, Y. E., & Eleveli, B. (2020). Value Stream Mapping with Simulation to Optimize Stock Levels: Case Study. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 14(3), 295–302.
- Mishra, A. K., Sharma, A., Sachdeo, M., & Jayakrishna, K. (2019). Development of sustainable value stream mapping (SVSM) for unit part manufacturing: A simulation approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(3), 493–514. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2018-0036>
- Mohanraj, R., Sakthivel, M., Vinodh, S., & Vimal, K. E. K. (2015). A framework for VSM integrated with Fuzzy QFD. *The TQM Journal*, 27(5), 616–663.
- Moyano-Fuentes, J., & Sacristán-Díaz, M. (2012). Learning on lean: a review of thinking and research. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(5), 551–582.
- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., Garcia-Sabater, J. J., Lleo, A., & Grau, P. (2019). Green value stream mapping approach to improving productivity and environmental performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68(3), 608–625. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2018-0216>
- Munyai, T., Makinde, O. A., Mbohwa, C., & Ramatsetse, B. (2019). Simulation-aided value stream mapping for productivity progression in a steel shaft manufacturing environment. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30(1), 171–186. <https://doi.org/10.7166/30-1-2089>
- Muter, İ., & Sezer, Z. (2018). Algorithms for the one-dimensional two-stage cutting

- stock problem. *European Journal of Operational Research*, 271(1), 20–32.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.042>
- Mutlu, O. A., Yılmaz, A., & Başer, B. C. (2012). *Mobilya ve Orman Ürünleri Sektör Analizi Raporu*. Zonguldak: Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı.
- Nawanir, G., Teong, L. K., & Othman, S. N. (2013). Impact of lean practices on operations performance and business performance: some evidence from Indonesian manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(7), 1019–1050.
- Needy, K. L., Norman, B. A., Bidanda, B., Tharmmaphornphilas, W., Ariyawongrat, P., & Warner, R. C. (2001). Human capital assessment in lean manufacturing. In *Proceedings of 2001 American society for engineering management conference, Huntsville: AL*.
- Norman, B. A., Tharmmaphornphilas, W., Needy, K. L., Bidanda, B., & Warner, R. C. (2002). Worker assignment in cellular manufacturing considering technical and human skills. *International Journal of Production Research*, 40(6), 1479–1492.
- Nowak, M., Pfaff, H., & Karbach, U. (2017). Does Value Stream Mapping affect the structure, process, and outcome quality in care facilities? A systematic review. *Systematic Reviews*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13643-017-0563-y>
- Oke, S. A. (2005). An analytical model for the optimisation of maintenance profitability. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54(2), 113–136.
- Pattanaik, L. N., & Sharma, B. P. (2009). Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(7–8), 772–779.
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K., & Jambekar, A. B. (2003). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3075–3090.
- Prasad, S., Khanduja, D., & Sharma, S. K. (2016). An empirical study on applicability of lean and green practices in the foundry industry. *Journal of Manufacturing*

- Technology Management*, 27(3), 408–426.
- Raffensperger, J. F. (2010). The generalized assortment and best cutting stock length problems. *International Transactions in Operational Research*, 17(1), 35–49. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2009.00724.x>
- Rafique, M. Z., Ab Rahman, M. N., Saibani, N., Arsad, N., & Saadat, W. (2016). RFID impacts on barriers affecting lean manufacturing. *Industrial Management & Data Systems*, 116(8), 1585–1616.
- Rahani, A. R., & Al-Ashraf, M. (2012). Production flow analysis through value stream mapping: a lean manufacturing process case study. *Procedia Engineering*, 41, 1727–1734.
- Ramani, P. V., & KSD, L. K. L. (2019). Application of lean in construction using value stream mapping. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(1), 216–228. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2018-0572>
- Rawabdeh, I. A. (2005). A model for the assessment of waste in job shop environments. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(8), 800–822.
- Rewers, P., Trojanowska, J., & Chabowski, P. (2016). Tools and methods of Lean Manufacturing - a literature review Tools and methods of Lean Manufacturing - a literature review. *7th International Technical Conference Technological Forum*, (June), 135–139.
- Romero, L. F., & Arce, A. (2017). Applying Value Stream Mapping in Manufacturing: A Systematic Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 1075–1086. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.385>
- Rother, M., & Harris, R. (2001). *Creating continuous flow: an action guide for managers, engineers & production associates*. Lean Enterprise Institute.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Brookline, USA: Lean Enterprise Institute.
- Rymaszewska, A. D. (2014). The challenges of lean manufacturing implementation in

- SMEs. *Benchmarking: An International Journal*, 21(6), 987–1002.
<https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2012-0065>
- Salah, S., Rahim, A., & Carretero, J. A. (2010). The integration of Six Sigma and lean management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 249–274.
<https://doi.org/10.1108/20401461011075035>
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., & Minkarah, I. (2006). Lean construction: From theory to implementation. *Journal of Management in Engineering*, 22(4), 168–175.
- Sarı, E. B. (2018). Üretim Hattı Tasarımında Değer Akış Haritalama Tekniğinin Kullanılması. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (56), 67–81.
Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpusbe/issue/36761/370934>
- Schoeman, Y., Oberholster, P., & Somerset, V. (2021). Value stream mapping as a supporting management tool to identify the flow of industrial waste: A case study. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su13010091>
- Şeker, A. (2016). Yalın Üretim Sisteminde Kanban, Tek Parça Akışı ve U Tipi Yerleştirme Sistemleri. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 449–470.
- Seth, D., & Gupta, V. (2005). Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: an Indian case study. *Production Planning & Control*, 16(1), 44–59.
- Seth, D., Seth, N., & Dhariwal, P. (2017). Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study. *Production Planning & Control*, 28(5), 398–419.
- Sezen, B., Karakadilar, I. S., & Buyukozkan, G. (2012). Proposition of a model for measuring adherence to lean practices: applied to Turkish automotive part suppliers. *International Journal of Production Research*, 50(14), 3878–3894.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2), 129–149.

- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805.
- Sharma, V., Dixit, A. R., & Qadri, M. A. (2016). Modeling lean implementation for manufacturing sector. *Journal of Modelling in Management*, 11(2), 405–442.
- Shirose, K. (1995). *TPM team guide*. Productivity Press.
- Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Chong, H. Y. (2017). A cross-sector review on the use of value stream mapping. *International Journal of Production Research*, 55(13), 3906–3928. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1311031>
- Sim, K. L., & Rogers, J. W. (2009). Implementing lean production systems: barriers to change. *Management Research News*, 32(1), 37–49.
- Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2011). Value stream mapping: Literature review and implications for Indian industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(5–8), 799–809. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2860-7>
- Singh, B., Garg, S. K., Sharma, S. K., & Grewal, C. (2010). Lean implementation and its benefits to production industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(2), 157–168.
- Singh, J., & Singh, H. (2009). Kaizen philosophy: a review of literature. *IUP Journal of Operations Management*, 8(2), 51.
- Singh, J., Singh, H., Singh, A., & Singh, J. (2020). *Managing industrial operations by lean thinking using value stream mapping and six sigma in manufacturing unit: Case studies*. *Management Decision* (Vol. 58). <https://doi.org/10.1108/MD-04-2017-0332>
- Slomp, J., & Molleman, E. (2002). Cross-training policies and team performance. *International Journal of Production Research*, 40(5), 1193–1219.
- Stadnicka, D., & Litwin, P. (2019). Value stream mapping and system dynamics integration for manufacturing line modelling and analysis. *International Journal of Production Economics*, 208, 400–411.

- Suhardi, B., Hermas Putri K.S, M., & Jauhari, W. A. (2020). Implementation of value stream mapping to reduce waste in a textile products industry. *Cogent Engineering*, 7(1), 1842148. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1842148>
- Taj, S., & Morosan, C. (2011). The impact of lean operations on the Chinese manufacturing performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(2), 223–240.
- Tapping, D., & Shuker, T. (2003). *Value Stream Management for the Lean Office: eight steps to planning, mapping, & sustaining lean improvements in administrative areas*. CRC Press.
- Taylor, D., & Brunt, D. (2001). *Manufacturing operations and supply chain management: the lean approach*. London: Thomson Learning.
- Teichgräber, U. K., & de Bucourt, M. (2012). Applying value stream mapping techniques to eliminate non-value-added waste for the procurement of endovascular stents. *European Journal of Radiology*, 81(1), e47–e52.
- TOBB. (2015). Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği.
- Turan, H. (2019). Bulanık ÇKKV Metodu Kullanarak Değer Akış Haritalama Uygulaması. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(1), 77–93.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *International Journal of Production Economics*, 160, 202–212.
- Vahid, S., Lehoux, N., de Santa-Eulalia, L. A., D'Amours, S., Frayret, J.-M., & Venkatadri, U. (2016). Supply chain modelling frameworks for forest products industry: a systematic literature review. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 54(1), 52–75.
- Vaidya, A. A., Gaugler, M., & Smith, D. A. (2016). Green route to modification of wood waste, cellulose and hemicellulose using reactive extrusion. *Carbohydrate Polymers*, 136, 1238–1250.

- Vilventhan, A., Ram, V. G., & Sugumaran, S. (2019). Value stream mapping for identification and assessment of material waste in construction: A case study. *Waste Management and Research*, 37(8), 815–825.
- Vlachos, I., & Bogdanovic, A. (2013). Lean thinking in the European hotel industry. *Tourism Management*, 36, 354–363.
- Wang, P., Wu, P., Chi, H. L., & Li, X. (2020). Adopting lean thinking in virtual reality-based personalized operation training using value stream mapping. *Automation in Construction*, 119(July), 103355.
- Wäscher, G., Haußner, H., & Schumann, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1109–1130.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1994). From Lean Production to the Lean Enterprise. *Harvard Business Review*, 72(2), 93–103.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. *Harvard Business Review*, 74(5), 140–172.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1998). *Yalın düşünce*. Optimist Yayın Grubu.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking*. London: Simon & Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*, Rawson Associates. New York (Vol. 323).
- Yuvamitra, K., Lee, J., & Dong, K. (2017). Value stream mapping of rope manufacturing: a case study. *International Journal of Manufacturing Engineering*, 2017, 8674187.
- Zahraee, S. M. (2016). A survey on lean manufacturing implementation in a selected manufacturing industry in Iran. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(2), 136–148.
- Zhu, X. Y., Zhang, H., & Jiang, Z. G. (2020). Application of green-modified value stream mapping to integrate and implement lean and green practices: A case study. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(7), 716–

731. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1667028>

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Literatür Özeti: Değer Akış Haritalama Çalışmalarının Özellikleri	39
Tablo 2. İndeksler, Parametreler, İfadeler ve Karar Değişkenleri	52
Tablo 3. Mevcut Durum Üretim Akış Süresi	66
Tablo 4. Mevcut Durum İşlem Süresi	66
Tablo 5. Bilgi Kutusu	67
Tablo 6. Gelecek Durum Üretim Akış Süresi	70
Tablo 7. Gelecek Durum İşlem Süresi	70
Tablo 8. Mevcut ve Gelecek Durum Üretim Akış Süreleri	72
Tablo 9. Mevcut ve Gelecek Durum İşlem Süreleri	73
Tablo 10. Matematiksel Model ile Ayrıştırma Algoritmasının Karşılaştırmalı Sonuçları	79
Tablo 11. %50 Kapasite Yükünde Ulaşılan Sonuçlar	80
Tablo 12. %70 Kapasite Yükünde Ulaşılan Sonuçlar	82
Tablo 13. %90 Kapasite Yükünde Ulaşılan Sonuçlar	83

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yalın Düşüncenin İlkeleri	25
Şekil 2. Kablo Makarası Diskinde Pisagor Teoremi Gösterimi	53
Şekil 3. Çözüme İlişkin Akış Şeması	57
Şekil 4. Üretim Akış Şeması.....	61
Şekil 5. Ürün İş Akış Şeması.....	63
Şekil 6. Ahşap Kurutma Fırını.....	64
Şekil 7. Örnek Kurulum Şeması	65
Şekil 8. Mevcut Durum Değer Akış Haritası	68
Şekil 9. Gelecek Durum Değer Akış Haritası.....	71
Şekil 10. İşletme Çalışanları Yetenek Matrisi	77
Şekil 11. Hammadde Kaybının Kapasite Yük Senaryolarına Göre Değişimi.....	84

ÖZGEÇMİŞ

Erkan Sami KÖKTEN Muğla'nın Fethiye ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Fethiye'de tamamladı. 2010 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2013 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü'nden mezun oldu. 2013 yılına kadar ahşap endüstrisinde çeşitli kademelerde görev yaptı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Karabük Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini 2015, doktora eğitimini 2019 yılında tamamladı. 2015 yılında Karabük Üniversitesi İşletme Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Doktor Öğretim Üyesi olarak göreve başladı ve halen bu görevini sürdürmektedir.