

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**İNŞAAT SÜREÇLERİNDE BAŞLICA İSRAFLARIN
BELİRLENMESİ VE ORTADAN KALDIRILMALARI
İÇİN UYGUN YALIN TEKNİKLERİN SWARA VE
BULANIK VIKOR İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan

Kaan ŞENOL

İstanbul, 2021

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**İNŞAAT SÜREÇLERİNDE BAŞLICA İSRAFLARIN
BELİRLENMESİ VE ORTADAN KALDIRILMALARI
İÇİN UYGUN YALIN TEKNİKLERİN SWARA VE
BULANIK VIKOR İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan
Kaan ŞENOL
17080920014
0000-0002-3228-5253

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ganimet Nilay YÜCENUR

İstanbul, 2021

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İnşaat süreçlerinde başlıca israfların belirlenmesi ve ortadan kaldırılmaları için uygun yalın tekniklerin SWARA ve Bulanık VIKOR ile değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını, patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 11.01.2021

Kaan ŞENOL

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS SINAV TUTANAĞI

11/01/2021

Enstitümüz *Endüstri Mühendisliği* Anabilim Dalı *Endüstri Mühendisliği* Programı yüksek lisans öğrencilerinden **17080920014** numaralı **Kaan ŞENOL**'un "*Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim – Öğretim Yönetmeliği'nin*" ilgili maddesine göre hazırlayarak, Enstitümüze teslim ettiği "*İnşaat Süreçlerinde Başlıca İsrâfların Belirlenmesi ve Ortadan Kaldırılmaları İçin Uygun Yalın Tekniklerin SWARA ve Bulanık VIKOR İle Değerlendirilmesi*" konulu tezini, Yönetim Kurulumuzun 29/12/2020 tarih ve 2020/38 sayılı toplantısında seçilen ve On-Line toplanan biz jüri üyeleri huzurunda, Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin 29. maddesinin 3. fıkrası gereğince 45 dakika süre ile Microsoft Teams programı aracılığıyla on-line olarak aday tarafından savunulmuş ve sonuçta adayın tezi hakkında **OYBİRLİĞİ** ile **KABUL** kararı verilmiştir.

İşbu tutanak, 4 nüsha olarak hazırlanmış ve Enstitü Müdürlüğü'ne sunulmak üzere tarafımızdan düzenlenmiştir.

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ganimet Nilay YÜCENUR
(Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Doç. Dr. Arzum ÖZGEN
(Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Doç.Dr. Doğan ÖZGEN
(Yıldız Teknik Üniversitesi)

Adı ve Soyadı : Kaan ŞENOL
Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ganimet Nilay YÜCENUR
Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans Tezi, 2021
Alanı : Endüstri Mühendisliği
Anahtar Kelimeler : Yalın Üretim, Yalın İnşaat, SWARA yöntemi, Bulanık VIKOR yöntemi, Çok Kriterli Karar Verme

ÖZ

İNŞAAT SÜREÇLERİNDE BAŞLICA İSRAFLARIN BELİRLENMESİ VE ORTADAN KALDIRILMALARI İÇİN UYGUN YALIN TEKNİKLERİN SWARA VE BULANIK VIKOR İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yalın üretim yaklaşımı, tüm sektörlerde uygulanabilecek yöntemlere sahip süreç iyileştirme ve iş geliştirme felsefelerinden bir tanesidir. Bu bağlamda yalın inşaat, inşaat süreçlerini iyileştirme ve geliştirme amacıyla, üretim sektörü ile inşaat sektörünü yalın adı altında birleştirerek ortak uygulamalar geliştirmeyi sağlamaktadır. Bu çalışma, inşaat süreçlerinde oluşan israfların belirlenerek ortadan kaldırılması ve süreçlerdeki verimliliğin artırılarak maliyetin düşürülmesi için en uygun yalın tekniklerin seçilerek, yalın bir inşaat sistemi oluşturulmasına yardımcı olmak amacıyla yapılmıştır.

Yapılan tez çalışması kapsamında, inşaat süreçlerinde oluşan israflar ve bu israfları ortadan kaldırabilecek yalın üretim tekniklerinin seçimi, çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınmıştır. Karar kriterleri olarak belirlenen israflar ve çözüm alternatifleri olarak belirlenen yalın teknikler, inşaat sektöründe önemli tecrübelerle sahip olan 5 uzman kişinin görüşleri ile belirlenmiştir. Problemin çözüm aşamasında, süreçlerde oluşan israfların kriter ağırlıkları ve önem sırası SWARA yöntemi kullanılarak bulunmuş, çözüm alternatifi olarak belirlenen yalın teknikler Bulanık VIKOR yöntemi ile değerlendirilmiş ve sonuç kısmında uzlaştırmacı çözüm olarak iki alternatif önerilmiştir.

Name and Surname : Kaan ŞENOL
Supervisor : Asst. Prof. Ganimet Nilay YÜCENUR
Degree and Date : Master, 2021
Majör : Industrial Engineering
Keywords : Lean Manufacturing, Lean Construction, SWARA method,
Fuzzy VIKOR method, Multi Criteria Decision Making

ABSTRACT

EVALUATION OF LEAN TECHNIQUES SUITABLE FOR THE DETERMINATION OF MAJOR WASTES IN CONSTRUCTION PROCESSES AND THEIR REMOVAL WITH SWARA AND FUZZY VIKOR

The lean manufacturing approach is one of the process improvement and business development philosophies that can be applied in all sectors. In this context, lean construction enables the development of common applications by combining the production sector and the construction sector under the name of lean in order to improve and develop construction processes. This study was carried out in order to help the creation of a lean construction system by selecting the most appropriate lean techniques to determine and eliminate the waste in construction processes and to reduce costs by increasing the efficiency of the processes.

Within the scope of the study, the wastes arising in the construction processes and the selection of lean production techniques that can eliminate these wastes were discussed as a multi-criteria decision making (MCDM) problem. In this problem wastes were determined as decision criteria and lean techniques were determined as solution alternatives by the opinions of 5 experts who have significant experience in the construction sector. In the solution phase of the problem, the criterion weights and importance order of wastes in the processes were found by using SWARA method, lean techniques determined as solution alternatives were evaluated by using Fuzzy VIKOR method and in conclusion two alternative lean techniques were obtained as compromise solutions.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZ

ABSTRACT

TABLolar LİSTESİ..... iv

ŞEKİLLER LİSTESİ..... v

KISALTMALAR vi

GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM

YALIN ÜRETİM

1.1. Yalın Üretimin Tarihsel Gelişimi	5
1.2. Yalın Üretimde İsraf (Muda) Kavramı	12
1.2.1. Aşırı Üretim	12
1.2.2. Bekleme	13
1.2.3. Taşıma.....	13
1.2.4. Yanlış İşlem	13
1.2.5. Envanter	14
1.2.6. Hareket.....	14
1.2.7. Hatalı Üretim.....	14
1.3. Yalın Düşünce ve Yalın Düşünce'nin Temel İlkeleri.....	15
1.3.1. Değer	15
1.3.2. Değer Akışı	16
1.3.2.1. Değer Akışı Haritalama	16
1.3.3. Sürekli Akış.....	17
1.3.4. Çekme Sistemi	18
1.3.5. Mükemmellik	19

İKİNCİ BÖLÜM

YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ

2.1. Tam Zamanında Üretim (Just In Time)	20
2.2. Tek Parça Akış	23
2.3. Kanban	25

2.4. Kaizen	29
2.5. PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem Al) Döngüsü.....	32
2.6. 5S	33
2.7. Jidoka	36
2.8. Andon.....	38
2.9. Poka-Yoke.....	39
2.10. Altı Sigma	40
2.11. SMED.....	42
2.12. Heijunka	45
2.13. Grup Teknolojisi, Hücreli Üretim ve U Tipi Yerleşim.....	47
2.14. Shojinka	51
2.15. Toplam Verimli Bakım	53
2.16. Görsel Yönetim	54

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YALIN İNŞAAT

3.1. İnşaat Sektörüne Genel Bakış	60
3.2. Yalın Üretim ve Yalın İnşaat arasındaki ilişki.....	62
3.3. Yalın İnşaat	63
3.4. İnşaat Süreçlerindeki İsrafların Belirlenmesi.....	65
3.5. Yalın Düşünce İlkelerinin İnşaat Süreçlerine Uygulanması	69
3.6. Yalın İnşaat Teknikleri.....	73

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

METODOLOJİ

4.1. SWARA Yöntemi	76
4.2. Bulanık Küme Teorisi	78
4.3. Bulanık VIKOR Yöntemi	80

BEŞİNCİ BÖLÜM

UYGULAMA

5.1. Problemin Tanımlanması	86
5.2. Karar Kriterlerinin Belirlenmesi	87
5.3. Alternatiflerin Belirlenmesi	94

5.4. Varsayımlar	97
5.5. Entegre Çözüm Yönteminin Oluşturulması	97
5.5.1. Entegre Yöntemin Probleme Uygulanması	98
SONUÇ	106
KAYNAKÇA	109



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No.
Tablo 1. Abu Dhabi inşaat sektöründe yer alan israflar	67
Tablo 2. Türkiye’deki inşaat süreçlerinde karşılaşılan israflar ve sıklık oranları	68
Tablo 3. İnşaatlarda oluşan israflar	68
Tablo 4. Malezya inşaat endüstrisi için uygulanabilecek yalın teknikler	74
Tablo 5. Görüşü Alınan Uzmanların Akademik Seviyeleri ve Sektörel tecrübeleri	87
Tablo 6. Araştırma Modeli Kriterleri ve Kriterlerin Kaynakları.....	93
Tablo 7. Uzmanların Sıralaması, p_{jk} ve p_j değerleri	99
Tablo 8. Bütün Kriterler için p_j , s_j , k_j , S_j' ve w_j Değerleri	100
Tablo 9. Alternatifleri Değerlendirmek İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler ve Dilsel Değişkenlerin Karşılığı Olan Trapezoidal Bulanık Sayı Değerleri.....	101
Tablo 10. Uzmanlar Tarafından Alternatiflerin Değerlendirilmesi	102
Tablo 11. Bulanık Karar Matrisi, Kriter Ağırlıkları Matrisi, En İyi Bulanık Değerler ve En Kötü Bulanık Değerlerin Gösterimi	103
Tablo 12. Tüm kriterlere göre i . alternatifin en iyi bulanık değere olan uzaklığı, S_i ve R_i değerleri	104
Tablo 13. S_i , R_i ve Q_i İndeks Değerleri ve Alternatiflerin Sıralanması	105

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 1. TPS Evi.....	9
Şekil 2. Amerikan ve Japon otomobil şirketlerinin 1947-1987 tarihleri arasındaki üretim miktarları.....	10
Şekil 3. Amerikan otomobil firmalarının 1955-1988 yılları arasındaki Pazar grafiği	11
Şekil 4. Değer Akışı Haritalama Örneği.....	17
Şekil 5. Çekme Kanbanı	27
Şekil 6. Üretim Kanbanı	28
Şekil 7. Tedarikçi Kanbanı	28
Şekil 8. Basit Andon.....	38
Şekil 9. Andon Panosu.....	38
Şekil 10. Müşteri talebindeki dalgalanmanın Heijunka ile üretim sistemine aktarılması	47
Şekil 11. U Tipi Yerleşim Örneği.....	50
Şekil 12. Üretim Sektörü ile inşaat sektörünün karşılaştırılması.....	61
Şekil 13. n trapezoidal bulanık sayısı	79
Şekil 14. Niteliksel değişkenler grafiği	80
Şekil 15. Çözüm Metodolojisi	85
Şekil 16. Araştırma Modeli	86

KISALTMALAR

5N1K:	Neden, nasıl, ne zaman, ne kadar sürede, kim
5S:	Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke – Sınıflandırma, Düzenleme, Temizlik, Standartlaştırma, Disiplin
ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
AR-GE:	Araştırma Geliştirme (Çalışma departmanı)
ÇKKV:	Çok Kriterli Karar Verme
DMAIC:	Define, Measure, Analyze, Improve, Control - Tanımlama, Ölçme, Analiz Etme, İyileştirme, Kontrol
FIFO:	First In First Out – İlk Giren İlk Çıkar (Yöntem adı)
GM:	General Motors (Araç markası)
GSYİH:	Gayri Safi Yurt içi Hasıla
IGLC:	International Group of Lean Construction - Uluslararası Yalın İnşaat Grubu
IMT:	Internal Marketing Tools – İç Pazarlama Araçları
JIPM:	Japan Institute of Plant Engineers – Japonya Tesis Bakım Enstitüsü
JIT:	Just In Time – Tam Zamanında Üretim
KOSGEB:	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
KPI:	Key performance indicators – Temel Performans Göstergeleri
LPDS:	Lean Project Delivery System - Yalın Proje Teslimat Sistemi
LPS:	Last Planner System - Son Planlayıcı Sistemi
MCDM:	Multi Criteria Decision Making – Çok Kriterli Karar Verme
MIT:	Massachusetts Institute of Technology - Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
MPS:	Master Planning Schedule - Ana Üretim Planı

MSc:	Master of Science – Yüksek Lisans Eğitim Seviyesi
OPL:	One Point Lessons – Tek noktalı dersler (Yöntem)
PhD:	Doctor of Philosophy – Doktora Eğitim Seviyesi
PM:	Preventive Maintenance – Önleyici Bakım
PPC:	Product Planning Control – Üretim Planı ve Kontrol
PUKÖ:	Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem al
SMED:	Single Minute Exchange of Die – Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi
SWARA:	Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis - Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi
T.C.:	Türkiye Cumhuriyeti
TFV:	Transformation, Flow, Value - Dönüşüm, Akış, Değer
TL:	Türk Lirası
TPM:	Total Productive Maintenance – Toplam Verimli Bakım
TPS:	Toyota Production System – Toyota Üretim Sistemi
TÜS:	Toyota Üretim Sistemi
TVB:	Toplam Verimli Bakım
TZÜ:	Tam Zamanında Üretim
US:	United States – Amerika Birleşik Devletleri
VIKOR:	Vise Kriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje - Çoklu Kriter Optimizasyonu ve Uzlaşma Çözümü (Sırpça)

GİRİŞ

Yapı inşası süreçlerinde gün geçtikçe artan verimlilik, performans ve maliyet problemleri başta inşaat şirketleri olmak üzere inşaat sektörleri ve ülke ekonomilerine büyük zarar vermektedir. Bu durum, dolaylı yoldan inşaat sektörünün dünya ekonomisine verebileceği potansiyel katkıyı da olumsuz yönde etkilemektedir. İnşaat sektörünün yaşadığı bu kayıplar, temelde inşaat süreçlerinin doğru planlanmaması ve yönetilmemesinden kaynaklanmaktadır. Yanlış veya eksik planlanan inşaat süreçlerinde oluşan israflar, inşaat sektörüne zarar veren en büyük etmenler arasındadır.

İnşaat sektörü, insan hayatına doğrudan etki eden en büyük sektörlerden biridir. Bu nedenden dolayı yapı inşalarının kaliteli olması insan hayatını sağlık, güvenlik ve mutluluk açısından olumlu yönde etkileyecektir. İnsanların mutluluk ve güveninin artması da inşaat sektörünün dünya ekonomisindeki payını arttırmasına olanak sağlayacaktır. Yapı inşalarının kalitesinin artması, inşaat süreçlerindeki verimlilik ve performansın arttırılması ile sağlanır. İnşaat süreçlerinin iyileştirilmesi, performansının arttırılması ve minimum maliyet ile maksimum değer üretilebilmesi, ilk olarak otomotiv üretimi sektöründe kullanılan yalın üretim sisteminin inşaat süreçlerine göre düzenlenerek uygulanması ile mümkün olmaktadır.

Yalın üretim, süreçlerdeki israfların ortadan kaldırılması ile üretim sisteminin performans ve verimliliğini arttırarak, üretimde sadece müşteri için değer katan aktivitelerin uygulanmasını sağlamaya çalışan bir üretim sistemi felsefesi olarak tanımlanabilir. Ayrıca yalın üretimin bir başka amacı da iş süreçlerini sürekli iyileştirerek kaliteyi yerinde üretmektir.

Yalın inşaat ise yalın üretim felsefesi ve tekniklerinin inşaat süreçlerine uygulanması ile ortaya çıkan bir yöntemdir. Yalın inşaat, inşaat süreçleri için uygulanan yönetim ve süreç iyileştirme yaklaşımıdır. İnşaat sektörünün güçlenmesi ve dünya ekonomisine yaptığı katkıları arttırabilmesi için yapı üreten şirketlerin, inşaat süreçlerini yalın inşaat uygulamaları ile tekrardan düzenlemesi ve yalın bir inşaat sistemi oluşturması gerekmektedir. Yalınlaşan inşaat sistemleri performans,

verimlilik, kalite ve güvenlik gibi süreçlerde kazanım elde ederken maliyetin azalmasını sağlayacaktır.

Bu tez kapsamında inşaat süreçlerine en fazla zarar veren israfların belirlenmesi ve bu israfların ortadan kaldırılarak sistemin yalınlaşabilmesi için en uygun yalın tekniklerin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, yalın üretim kavramı, tarihçesi, prensipleri ve ortadan kaldırmaya çalıştığı israf türleri açıklamaları ile detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

İkinci bölümde israfların ortadan kaldırılması amacıyla geliştirilen bazı yalın üretim tekniklerinin amaçlarından ve uygulanma şekillerinden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde ilk olarak inşaat sektörünün olumlu ve olumsuz yönlerinden bahsedilerek iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gereken yönleri ele alınmıştır. Devamında yalın inşaat teriminin tanımlaması yapılarak geleneksel bir inşaat sisteminin hangi uygulamalar ile yalın inşaat sistemine dönüştürülebileceğinden bahsedilmiş ve yalın inşaat ile ilgili literatürde yapılan diğer çalışmalara değinilmiştir.

Dördüncü bölümde israfların belirlenmesi ve belirlenen israfların ortadan kaldırılması için uygun yalın üretim tekniklerinin seçilmesi probleminin çözümünde kullanılacak SWARA ve Bulanık VIKOR yöntemleri adımlarıyla beraber detaylı bir şekilde tanımlanmıştır.

Beşinci bölümde ilk olarak, tez çalışması kapsamında belirlenen problemde karar kriterleri olarak kullanılacak israflar, çözüm alternatifleri olarak kullanılacak yalın teknikler ve bu kriterleri alternatifler açısından değerlendirecek uzmanlar belirlenmiştir. Devamında problemin çözümünde kullanılacak entegre SWARA-Bulanık VIKOR çözüm modeli oluşturularak probleme uygulanmıştır. Bu çözüm yönteminin uygulanması ile inşaatlara zarar veren israflar önem sırasına göre SWARA yöntemi ile sıralanmış devamında yalın teknikler, Bulanık VIKOR yöntemi ile değerlendirilerek uzlaştırmacı çözüm alternatifleri belirlenmiştir. Sonuç kısmında ise bulgular ve problemin sonucu yorumlanmıştır.

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatür incelemesi yapıldığında SWARA metodunun birçok çok kriterli karar verme uygulamasında kullanıldığı görülmektedir. Örneğin; Zolfani, Zavadskas ve Turskis (2013) yaptıkları çalışmada, ürün üretimi ve tasarlamasında Yin-Yang teorisini kullanan üreticiler için uluslararası ürün üretimindeki genel durumları incelemiştir. Çalışmanın sonunda, ürün üretiminde en çok önem verilmesi gereken 6 kriter SWARA yöntemi ile önceliklendirilmiştir (Zolfani, Zavadskas ve Turskis 2013). Zolfani ve Saparaskas (2013) yaptıkları çalışmada, enerjinin sürdürülebilir değerlendirme göstergelerini SWARA yöntemi ile önceliklendirmiştir. Çalışmada 4 ana ve 14 alt kriter ele alınmış, 4 ana kriter alt kriterlerine göre önceliklendirilmiştir (Zolfani ve Saparaskas 2013). Zolfani, Salimi, Maknoon ve Simona (2015) yaptıkları çalışmada, İran'da yapılacak Ar-Ge projelerinin seçiminde SWARA yöntemini kullanmıştır. Çalışmada 6 ana 20 alt kriter belirlenmiş ve bu kriterler SWARA yöntemi ile önceliklendirilmiştir (Zolfani, Salimi, ve diğerleri 2015). Panahi, Khakzad ve Afzal (2017) yaptıkları çalışmada İran'ın merkezinde bulunan Anarak bölgesindeki bakır yataklarının yerlerini belirlemek için SWARA yöntemini kullanmıştır (Panahi, Khakzad ve Afzal 2017). Radovic ve Stevic (2018) yaptıkları çalışmada, ulaştırma sektöründe bulunan şirketlerin gelen verimliliğini arttırmak amacıyla tüm temel performans göstergeleri arasından en önemlilerini önceliklendirmek için SWARA yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada 62 performans göstergesi içerisinde 20 performans göstergesi, en önemli göstergeler olarak belirlenmiştir (Radovic ve Stevic 2018). Zolfani, Yazdani ve Zavadskas (2018) kriter önceliklendirmek süreçlerini iyileştirmek için ağırlık değerlendirme oran analizi çalışması yapmış ve SWARA yöntemini kullanmışlardır (Zolfani, Yazdani ve Zavadskas 2018). Taghavi, Antucheviciene ve Yaghobian (2019) yaptıkları çalışmada üniversite ve yükseköğretim merkezindeki kurumsal kaynak planlama sistemlerinin başarısını etkileyen faktörleri SWARA yöntemi ile önceliklendirmişlerdir (Taghavi, Antucheviciene ve Yaghobian 2019). Aydın ve Şenkayas (2019) yaptıkları çalışmada lojistik servis sağlayıcı seçerken göz önünde bulundurulacak durumların kriter ağırlıklarını belirlemek için SWARA yöntemini kullanmışlardır (Aydın, Şenkayas ve , 2019).

Bu tez kapsamında kullanılan bir diğer yöntem ise Bulanık VIKOR yöntemidir. Shemshadi, Shirazi, Toreihi ve Tarokh (2011) yaptıkları çalışmada, potansiyel tedarikçilerin seçimi problemi kapsamında Bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır (Shemshadi , ve diğerleri 2011). Oprovic (2011) çalışmasında yer alan, su kaynaklarının planlaması için yaptığı uygulamada Bulanık VIKOR yöntemini kullanmıştır (Oprovic 2011). Girubha ve Vinodh (2012) yaptıkları çalışmada, otomobil bileşenleri için malzeme seçimindeki çevresel etkileri araştırmışlardır. Çalışmada malzeme seçimi bölümü Bulanık VIKOR yöntemi ile değerlendirilmiştir (Girubha ve Vinodh 2012). Akyüz (2012) yaptığı çalışmada, tedarikçi seçimi için Bulanık VIKOR yöntemini kullanmıştır (Akyüz 2012). Yıldız ve Deveci (2013) yaptıkları çalışmada, personel seçimi için Bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır (Yıldız ve Deveci 2013). Chang (2014) yaptığı çalışmada, Tayvan'daki hastane hizmet değerlendirmesine ilişkin problemi Bulanık VIKOR yöntemi ile değerlendirmiştir (Chang 2014). Rostamzadeh vd. (2014) yaptıkları çalışmada, Malezya'da yeşil tedarik zinciri çalışmasındaki belirsizlikleri ölçmek için Bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır (Rostamzadeh, ve diğerleri 2014). Liu vd. (2014) yaptıkları çalışmada, arıza modu ve etki analizleri başlığı altında arıza modlarının risk önceliklerini Bulanık VIKOR yöntemi ile belirlemişlerdir (Liu, ve diğerleri 2014). Türkmen ve Bildik (2015) yaptıkları çalışmada üniversite öğrencilerinin, şehirlerarası otobüs firmalarının tercih sıralamasını Bulanık VIKOR yöntemiyle belirlemişlerdir (Türkmen ve Bildik 2015). Çakır ve Özdemir (2016) yaptıkları çalışmada, Altı Sigma yönteminde kullanılacak projelerin seçiminde Bulanık VIKOR yöntemine de yer vermişlerdir. Bu çalışma aynı zamanda yalın üretim ile Bulanık VIKOR yönteminin kesiştiği bir çalışmadır (Çakır ve Özdemir 2016).

Literatür incelendiğinde SWARA ve Bulanık VIKOR yöntemleri sadece Ajalli, Mozaffari ve Salahshori (2019)'nin yaptıkları çalışmada birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada tedarikçilerin kalitesini önemli ölçüde etkileyen faktörler SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılmış, kriterlere göre en iyi tedarikçiler ise Bulanık VIKOR yöntemi ile belirlenmiştir (Ajalli, Mozaffari ve Salahshori 2019). Literatürde SWARA ve Bulanık VIKOR yöntemlerinin beraber kullanıldığı başka bir yalın üretim projesi ise bulunmamaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

YALIN ÜRETİM

1.1. Yalın Üretimin Tarihsel Gelişimi

Yalın üretimin kökeni Çırçır makinesinin (pamuk motoru) mucidi olarak tanınan Eli Whitney'e kadar uzanmaktadır. Whitney, 1799 yılında Amerikan ordusu için 10.000 tüfek üretmek üzere bir anlaşma imzaladı. O yıllarda tüfekler el yapımı olduğu için yapımı çok uzun sürmekteydi. Whitney anlaşma yaptığı miktarda silahı zamanında üretememiş ancak işçilerin metali şekilli biçimde kesmesini sağlayan çeşitli freze makineleri üretmiştir. Bu freze makineleri sayesinde silahları tek parça üretmek yerine, silah parçalarını ayrı ayrı üretilip birleştirdiği bir üretim sistemi oluşturmuştur. Geliştirdiği bu teknoloji, bozulan silahların baştan üretilmesi yerine sadece bozulan parçalarının üretilmesine olanak sağlamıştır. Devamında bozulan silah parçaları yenisi ile değiştirilerek kullanımlarına devam edilmiştir. Whitney keşfettiği bu üretim sistemi ile “Değiştirilebilen Parçalar” tekniğinin mucidi olmuş ve “Yalın Üretim” düşüncesinin tarihteki öncülerinden biri haline gelmiştir (Sun 2011, 161).

1880'li yılların sonunda Frederick W. Taylor ve arkadaşları, çalışmalarını üretim atölyelerinde rutin işler yapan işçilerin çalışma tipleri üzerine yoğunlaştırmıştır (Kijne 1996, 63). Yapılan çalışmaların sonucunda Taylor, 1911 yılında yayınladığı “Bilimsel Yönetim İlkeleri (Taylorizm)” eseri ile günümüzde kullanılan “Standart iş” ve “Zaman Etüdü” kavramlarının öncüsü olmuştur (Dave 2020, 1599).

Nicholas (2018)'a göre Taylor'ın Zaman Etüdü çalışmasından kısa bir süre sonra Frank Gilbreth, “Hareket Etüdü” ve “Süreç Haritalama” yöntemlerini keşfetmiştir (Kesit 2019, 15). Bu iki düşüncede birbirinden farklı olarak Taylor öncelikle işlem sürelerinin kısaltılmasıyla ilgilenmiş, Gilbreth ise süreçlerdeki gereksiz hareketleri azaltarak daha fazla verimlilik sağlamaya çalışmıştır. Gilbreth işçilerin refahını ve performansını ele alırken, Taylor ise, öncelikli olarak üretim zamanını azaltmayı hedeflemiştir (Nadworny 1957, 27). Frank Gilbreth'in eşi olan Lilian Gilbreth ise çalışanların motivasyon ve tutumlarının üretim sürecine olan etkisini araştırarak, çalışan psikolojisinin üretime olan etkilerini belirlemiştir. Lilian

ve Frank Gilbreth'in araştırmaları sonucunda yalın üretimin temelini oluşturan "israfları ortadan kaldırma" fikri ortaya çıkmıştır (Sun 2011, 161).

1903 yılında Ford Motor şirketi'ni kuran Henry Ford, 1914 yılında yürüyen bant sistemini hayata geçirmiş, sonrasında ise değiştirilebilir parçalar ve standart iş kavramını da süreçlere ilave ederek "Akış Üretimi" sistemini oluşturmuştur (Yamashita 2004, 10). Ford'un öncüsü olduğu seri üretim sistemi tarihteki en başarılı üretim sistemlerinden biridir. Taylorizm ile çok benzer olan Fordizm'de üretim bandında çalışan işçilerden sadece kendilerine verilen tek bir işi yapmaları istenmiştir. İşçiler çalıştıkları süre boyunca hep aynı işi yapmış, makineler ise çalıştıkları süre boyunca hep aynı parçaları üretmiştir. Bu nedenle işçi sadece kas gücü olarak görölmüş ve işçilerde herhangi bir vasıf aranmamıştır. Bu alışma şekli tek tip araç üretimi için çok uygun bir sistem olsa da ilerleyen zamanlarda tek tip araca olan talebin azalması ve farklı tip araç üretmede gerekli akış esnekliğinin sağlanamamasından dolayı Ford'un sektördeki gücünü kaybetmesine neden olmuştur (Khlat, Harb ve Kassem 2014, 49).

19. yüzyılın sonlarında "Japon Mucitlerin Kralı" olarak bilinen Sakichi Toyoda, Japonya tekstil endüstrisi için bir devrim olan Japonya'nın ilk otomatik dokuma makinesini icat etmiş ve 1918 yılında Toyoda iplik ve dokuma fabrikasını kurmuştur (Holweg 2007, 421). 1924 yılında ise oğlu Kiichiro'nun yardımı ile ilk otomatik dokuma tezgahını tamamlamış, 1926 yılında "Toyoda Tezgah İşleri" adında mühendislik üretim şirketini kurmuştur. 1929 yılında Sakichi Toyoda, firmasının patentini Platts Kardeşlere satmış ve buradan gelen sermayeyi oğlu Kiichiro Toyoda ile birlikte otomotiv üretimi için kullanmaya başlamıştır (Ergüneş 2014, 3).

1930'ların başında değişen talep anlayışıyla beraber farklı modelde ve renkte araçların üretilmesi nedeniyle Ford, otomobil sektöründeki gücünü kaybederek bu alandaki konumunu General Motors (GM) şirketine kaptırmıştır (Kılıç 2016, 11).

1933 yılında, Kiichiro Toyoda, Sakichi Toyoda'nın ölümünden 3 yıl sonra Toyoda Tezgah İşleri şirketinde bir otomotiv bölümü kurdu. 1935'te Toyoda ilk prototip otomotivi olan Model A1'i piyasaya sürdü. 1937'de Toyota Motor İşletmesi, Toyoda Tezgah İşleri'nden ayrılarak faaliyete geçti. 1938'de Koromo Fabrikasının

inşaatı tamamlandı ve Toyota Motor İşletmesi bu fabrikada “Akış”, “Jidoka” ve “Just-In-Time (Tam Zamanında Üretim)” sistemlerini temel alarak üretime başladı (Tcmit 1994).

II. Dünya Savaşı’nın kaybedilmesinden sonra Japon mühendisler için Ford’un üretim sistemi araştırma konusu haline geldi (Sezen ve Erdoğan 2009, 69). Aynı dönemde Kiicho Toyoda’nın kuzeni olan Eiji Toyoda, Toyota Motor İşletmesinin üretim kolunun genel başkanı seçildi ve 1950 yılında Taiichi Ohno ile beraber Ford’un Detroit’deki Rogue Üretim Tesislerini incelemek üzere Amerika’ya gitti. Ford’un kurulduğu yıldan itibaren günümüzde bile hala kullanılan seri üretim sistemini inceledi ve gözlemlerini raporladı (Holweg 2007, 421). Döndüğünde Taiichi Ohno ile bu raporları inceleyerek aşağıdaki sonuçları elde ettiler (Türkan 2010, 30):

- Sistemde kullanılan tüm iş ve makine gücünün sadece tek bir işte kullanılması nedeniyle üretim israfları oluşmuştur.
- Makine hazırlıkları ve kalıp değişimlerinin uzun sürmesi, sistemi sadece büyük partilerle üretim yapmaya zorunlu kılmıştır.
- Elde çok fazla stok tutulduğu için maliyet artmıştır.
- Maksimum performansta üretim yapıldığı için üretilen ürünlerde kalite sorunları ortaya çıkmış ve bu ürünlerin yeniden işlenmesi gerekmiştir.
- Taylor tipi üretimin neden olduğu katı kıdem sisteminden dolayı işçiler yalnızca ekonomik bir değişken olarak değerlendirilmiştir.

Bu tecrübeler ile beraber II. Dünya Savaşı’nı kaybeden Japonya’da, az sayıda çeşitten çok miktarda araç üretme (seri üretim) fikri kabul görmemiştir. Çünkü yerli halkın alım gücü düşüktür, talepler değişkendir ve işçi haklarından dolayı işçiler değişken bir maliyet olarak değerlendirilmemiştir. Ayrıca savaştan dolayı ekonomik açıdan büyük zarar gören Japonya, Ford fabrikalarında kullanılan teknolojiyi ülkeye getirecek bütçeyi bulamamıştır (Seçkin 2007, 13).

Ersoy ve Ersoy (2011)’a göre ekonomiyi düzeltmek ve dünya piyasalarında tekrar yer edinebilmek için Amerika’nın seri üretim sistemi ile rekabet etmek zorunda kalan Japonya, kendi üretim sistemini oluşturmuştur. Bu sistemin amacı eldeki sınırlı

kaynaklar ile üretimde maksimum verimi yakalamak ve ürünlerin kalitesini arttırmaktır (Kılıç 2016, 11).

Toyota'nın üç önemli mühendisi Eiji Toyodo, Taiichi Ohno ve Ohno'nun danışmanlığını yapan Shigeo Shingo'nun önderliğinde Toyota üretim tesislerinde, Ford'un akış mantığı, hareketli montaj bandı ve standartlaştırılmış iş sistemi uygulanmış, uygulama esnasında ellerindeki az kaynak ile müşteri odaklılığının artmasını ve ürüne değer katmayan adımların azaltılmasını hedefleyen üretim metotları oluşturulmaya başlanmıştır (Dave 2020, 1600).

Ünnü (2003)'e göre yapılan çalışmaların sonuçlarından yola çıkarak Ohno, üretim sisteminde birçok değişiklik uygulamıştır. Ohno'nun Toyota üretim sisteminde yaptığı değişiklik çalışmaları aşağıdaki gibidir (Çakır 2011, 11):

- Kalıp değişimlerinin hızlandırılması,
- İşçilerin tek bir ustabaşı altında çalışması yerine ekipler halinde gruplandırılması,
- İşçilere üretim hattında yaptıkları işlerin yanında temizlik, bakım ve düzen, denetim işlerinde de görevlendirilmesi,
- Montaj hattının üretim sırasına göre sıralanması,
- Üretim hattında yaşanan herhangi bir yanlış durumda hattın durdurulma yetkisinin işçilere verilmesi,
- Kanban kartlarının üretim sistemine entegre edilmesi ile üretimde çekme sistemine geçilmesi,
- Kanban sistemini üretim hattı ve tedarikçilerde de kullanarak sürekli akışın sağlanması ve proses arası stokların ortadan kaldırılması,
- Model sayısının artırılması için özel tasarım ekiplerinin kurulması.

Bu değişimler ile birlikte Taiichi Ohno, geliştirdiği yeni üretim sistemini 1960'ların sonunda Toyota üretim tesisine tam olarak kabul ettirmiş ve içerisinde birçok farklı üretimde iyileşme temelli terimler olan Toyota Üretim Sistemi'ni hayata geçirmiştir.

Toyota Üretim Sistemi'nin amacı üretim sürecinde israfa yol açabilecek her aktivitenin ortadan kaldırılması ile yüksek kalitedeki ürünleri düşük maliyetler ile üretmek ve değişken müşteri taleplerini tam zamanında karşılayacak esnekliği oluşturmaktır (Sevimli 2005, 24). Bu amaçlara ulaşabilmek için proseslerin birbiriyle ortak hareket etmesi ve tüm sistemin belirlenen hedeflere göre planlanarak çalışması gerekmektedir (Şen 2017, 16).

Şekil 1'de gösterilen TÜS (Toyota Üretim Sistemi) Evi, Toyota tarafından Toyota Üretim Sisteminin görsel bir şekilde özetlenmiş halidir. Ev modeli TÜS'ün yapısal sistemini temsil eder. Toyota'ya göre çatı ve sütunlar sadece temel sağlamsa güçlüdür. Çatı, TÜS'ün hedeflerini temsil eder. İki dış sütun TÜS'ün hedeflerine ulaşmak için giden yolda sıkça kullandığı TZÜ ve Jidoka'yı temsil eder. Evin merkezinde insan ve şirket kültürü bulunur. Temelde ise standart, istikrarlı ve güvenilir süreçlere ulaşabilmesi için gerekli olan unsurlar gösterilir (Kehr ve Proctor 2016, 922-923).



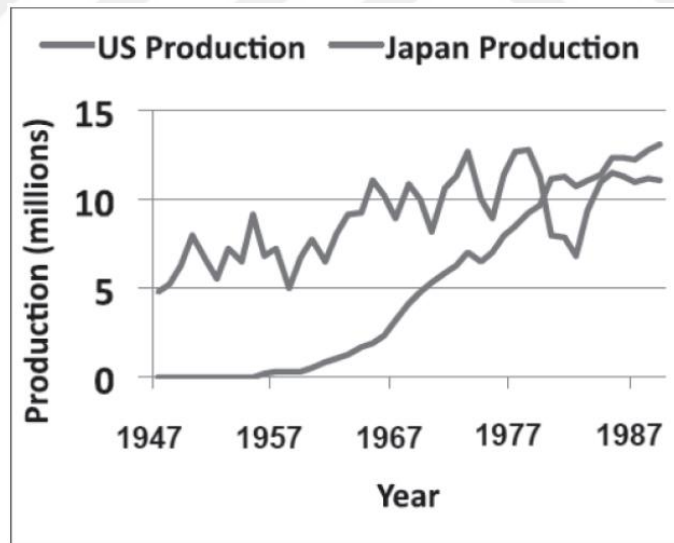
Şekil 1. TPS Evi (Kehr ve Proctor 2016, 922)

Toyota Üretim Sistemi, Toyota fabrikalarında 1960 yılında uygulanmaya başlanmış ancak asıl ilgiyi 1973 petrol krizinde üzerine çekmiştir. 1973 yılının sonlarında tüm dünyayı etkileyen petrol krizi Japonya'da da etkisini göstermiştir ancak

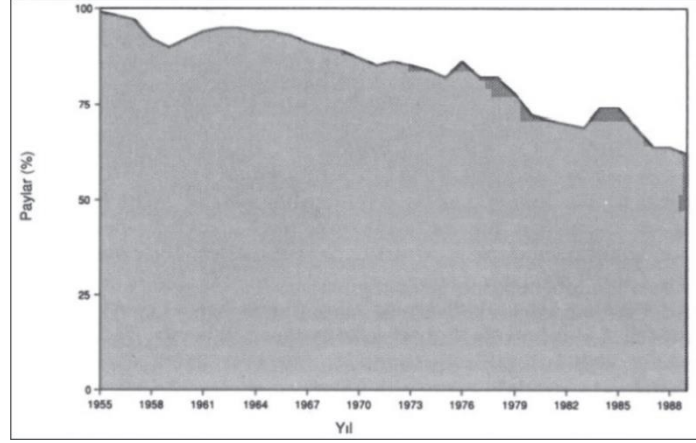
Toyota firması kendi üretim sistemiyle mevcut durumunu korumuş ve 1975 yılında yükselmeye devam etmiştir (Çakır 2011, 12).

Krizden minimum zararla çıkan Toyota Üretim Sisteminin, üretimdeki verimlilik ve kalite kazanımları tüm dünyanın ilgisini çekmeyi başarmıştır. İlerleyen yıllarda ilk olarak Amerikan üreticiler olmak üzere dünyanın çeşitli ülkelerinden TPS'i incelemek için Japonya'ya geziler düzenlenmiştir (Sun 2011, 162).

Toyota Üretim Sistemi ile ürettiği otomobillerin sayısını ve kalitesini sürekli arttıran Japonya, her geçen gün dünya pazarındaki gücünü arttırmaya başlamıştır. Amerikan firmalarının Toyota'daki esnekliğe ulaşamaması zamanla talepleri ve üretim verimini düşürürken, pazar paylarını da Japonlara kaptırmasına neden olmuştur. Şekil 2'de Japon ve Amerikan otomobil firmalarının yıl bazında üretim adetleri gösterilirken, Amerikan otomobil firmalarının pazar payındaki düşüş ise Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü üzere Amerikan otomobil firmalarının pazar payı 30 yıl içerisinde %40 düşüş yaşamıştır (Yıldız, ve diğerleri 2014, 730).



Şekil 2. Amerikan ve Japon otomobil şirketlerinin 1947-1987 tarihleri arasındaki üretim miktarları (Yıldız, ve diğerleri 2014, 731)



Şekil 3. Amerikan otomobil firmalarının 1955-1988 yılları arasındaki Pazar grafiği (Yıldız, ve diğerleri 2014, 731)

Toyota, Toyota Üretim Sistemi'nin temelinden başlayıp günümüze kadar sürekli geliştirdiği sistem sayesinde dönemindeki en büyük rakibi olan GM (General Motors)'i dünya sıralamasında geçmiştir. Yıllar içerisinde sıralama değişiklik gösterse de 2019 yılı pazar payı sıralamasında %10,24'lük pazar payı ile Toyota birinci olmuştur (Wagner 2020).

Toyota Üretim Sistemi ilk kez 1988 yılında John Krafnick tarafından “Yalın” olarak tanımlanmıştır. Krafnick'in MIT'teki (Massachusetts Institute of Technology) yüksek lisans çalışmasının ardından yayınladığı Triumph of Lean Production (Yalın Üretim Sisteminin Zaferi) makalesinde Toyota'da uygulanan üretim sisteminin diğer üretim sistemlerine göre her şeyi daha az talep etmesinden dolayı TÜS'ü tanımlarken “Yalın Üretim” terimini kullanmıştır (Çakır 2011, 11).

James Womack, Daniel T. Jones ve Daniel Ross, Amerika ve Avrupa'da uygulanan seri üretim sistemini Japonya'da uygulanan yalın üretim sistemiyle karşılaştırmıştır. Yaklaşık 5 yıl süren çalışmalarının sonunda elde ettikleri bilgileri 1990 yılında “The Machine that Changed the World (Dünyayı Değiştiren Makine)” ismini verdikleri kitapta toplayarak piyasaya sürmüşlerdir. Bu kitap ile beraber tüm dünya yalın üretim sisteminin düşünme ve çalışma şeklini tanıma fırsatı bulmuştur (Yıldız, ve diğerleri 2014, 731). 1990'ların devamında ise yalın üretim teknikleri endüstri dünyasının birçok alanında kullanılmaya başlanmıştır.

1996’da Yalın Üretim ile ilgili yazarlığını yine James Womack ve Daniel T. Jones’un yaptığı Lean Thinking (Yalın Düşünce) kitabı ile 2004 yılında yazarlığını Jeffrey K. Liker’in yaptığı The Toyota Way (Toyota Yolu) kitabı yalın üretimin ve yalın düşüncenin anlaşılması için okunması gereken önemli kitaplar olmuştur.

1997 yılında Amerika’da ilk yalın enstitünün kurulması ile yalın üretim sistemi kurumsal bir sisteme dönüşmüştür. Lean Enterpries Institute (Yalın Kuruluş Enstitüsü) adıyla kurulan bu topluluk, başta Amerika olmak üzere dünyada yalın üretimin doğru öğrenilmesi, uygulanması ve farklı alanlarda da kullanılabilmesi için birçok bilimsel eser ortaya çıkartmıştır. Devamında İngiltere’de bir yalın enstitü kurulmuş ve günümüze kadar birçok ülkede yalın enstitüler kurulmaya devam edilmiştir. Türkiye’de ise ilk yalın enstitü 2002 yılında İstanbul’da kurulmuştur (Erkek 2008, 4).

1.2. Yalın Üretimde İsraf (Muda) Kavramı

Yalın üretim sisteminin temel amacı israfları ortadan kaldırarak, mümkün olan en düşük maliyet ile en kısa zamanda, en kaliteli ürünleri üretmektir (Gupta ve Jain 2013, 241). Bu amaca ulaşabilmenin yanında sistem verimliliğini de sürekli geliştirebilmek için israfların belirlenerek ortadan kaldırılması gerekmektedir. Ohno TPS’i geliştirdiği dönemde, üretim sisteminin kaynaklarını tüketen ancak nihai ürüne değer katmayan ve üretim maliyetini gereksiz arttıran her faaliyeti israf (muda) olarak tanımlamıştır (Ayçın 2016, 44). Ohno’ya göre ortadan kaldırılması gereken yedi temel israf türü vardır. Bu israf türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ohno 1988, 19):

1.2.1. Aşırı Üretim

Müşteri talebi gelmeden üretim yapmak veya müşteri taleplerinden daha fazla ürün üretmek aşırı üretim olarak adlandırılır. Üretim bandında ise sonraki sürecin talebinden daha fazla ürün üretmek, önceki sürecin talep ettiği ürünleri zamanından önce üretmek veya sonraki süreci planlanandan daha fazla üretim yapmaya zorlamak gibi durumlarda aşırı üretim olarak adlandırılabilir (Arunagiri ve Gnanavelbabu 2014,

2169). Aşırı üretim elde stoklar tutulması, fazla üretilen ürünlerin hurdaya ayrılması veya ürünün değerinden daha az fiyatlara satılması gibi işletmeye zarar veren sonuçlar ortaya çıkarır (Bırakmaz 2013, 39).

1.2.2. Bekleme

Üretim aşamasında beklemenin olduğu her an bekleme israfı olarak adlandırılır. İşçilerin makine çalışırken başında beklemesi, belge ve onay beklemek, bozuk ekipmanların tamir edilmesini beklemek ve kapasite darboğazları gibi durumlar üretimin akışını yavaşlatarak, ürünlerin prosesler arasında teslimat süresini uzatır. Üretim hattında başlayan bekleme israfları ürünlerin nihai müşteriye geç teslim edilmesine kadar zincirleme bir şekilde ilerleyerek tüm üretim sisteminin yavaşlamasına yol açar (Sternberg, ve diğerleri 2012, 51).

1.2.3. Taşıma

Üretim hattında yapılan gereksiz taşıma hareketleri taşıma israfı olarak adlandırılır. İşlemler arası gereksiz alet ve parça taşınması, üretilen ürünlerin depoya veya depo dışına taşınması, tedarik edilen veya üretilen ürünlerin hedefe taşınmasındansa iki seferli taşıma sistemi kullanılması, bilgilerin veya onaylanması gereken belgelerin gereksiz onay süreçlerine götürülmesi gibi aktiviteler taşıma israflarına örnek verilebilir (Sullivan, McDonald ve Van Aken 2002, 256).

1.2.4. Yanlış İşlem

Yanlış işlem israfları, proseslerin yanlış planlanması veya yanlış uygulanmasından dolayı oluşan israflardır. Basit bir ürün üretimi için gereğinden fazla kaliteli makinelerin kullanılması, proseslerin gereğinden uzun ve karmaşık planlanması, yetersiz tasarımlar, bilgisiz çalışanlar, yanlış alet ve makine kullanımı gibi durumlar proseslerin yanlış işlenmesine neden olur. Ayrıca yanlış değer

tanımlamasından kaynaklanan durumlarda örneğin; müşterilerin üründe görmeyeceği yerlerin boyanması, fazla hammadde kullanılması vb. ürüne aşırı değer katan ancak müşterinin ücretini ödemediği aktiviteler de yanlış işlem israfı olarak adlandırılır (Ko ve Chung 2014, 2).

1.2.5. Envanter

Mevcut müşteri taleplerini yerine getirmek dışında elde tutulan tüm stoklar fazla envanter israfını oluşturur. Tutulan her stok fazladan envanter alanı gerektirir ve fazla envanter alanı işletme için gereksiz maliyete yol açar (Sternberg, ve diğerleri 2012, 51).

1.2.6. Hareket

Çalışanların yaptığı tüm gereksiz hareketler israftır. Genellikle tesisin üretim sırasına göre dizayn edilmemesi, makine arızaları, aşırı üretim, aşırı stok ve zayıf haberleşme gibi durumlar işçilerin, prosesler arası hareket etme, stok taşıma, malzeme arama, belge götürme gibi hareket israflarını oluşturmasına sebep olur. Çalışanların üretim hattında yaptığı tüm yürümeler ürüne değer katmadığı için israf olarak kabul edilir (Lai, ve diğerleri 2019, 207).

1.2.7. Hatalı Üretim

Müşterilerin talep ettiği ürünler dışında bir ürün üretmek veya üretilen üründe bir kusur olması hatalı üretim israflarına örnek olarak gösterilebilir. Hatalı üretilen ürünün müşteriye ulaşması müşteri kaybına yol açarken, hatalı ürünün proseste tespit edilmesi yeniden işleme, kaynak kaybı, zaman kaybı, akış yavaşlaması, iş ve makine gücü israfı gibi durumlara yol açabilir (Chikhalikar ve Sharma 2015, 405).

1.3. Yalın Düşünce ve Yalın Düşünce'nin Temel İlkeleri

Üretim sisteminde oluşacak herhangi bir israf, zincirleme bir şekilde diğer israfların da oluşmasına olanak sağlayabilir. Ohno'ya göre yalın üretim sistemi mükemmelliği hedefleyen bir sistemdir ve sistemde bulunan her elemanın (makine, alet ve çalışanlar) yalın üretim anlayışını benimseyip bu anlayışa göre çalışması gerekmektedir (Dağcı 2019, 5). Sistemde atılacak her adım belirlenen akış planı içerisinde olmalıdır. Üretim hattı, tedarik veya ofis tarafında yapılacak yanlış bir adım veya yavaş yapılan herhangi bir işlem bütün akışı etkilemektedir. Bu durumlardan dolayı sistemdeki tüm israflar ortadan kaldırılmalı ve yalınlaşma yakalanarak üretime başlanmalıdır (İnce 2018, 164). Sistemde bulunan tüm bireylerin yalınlaşabilmesi ve israfların ortadan kaldırılabilmesi için Womack ve Jones 1996 yılında Yalın Düşünce kitabını yazmış ve yalın düşüncenin sağlanabilmesi için 5 temel ilke belirlemiştir. Bu ilkeler aşağıdaki gibidir (Womack ve Jones 2003, 2):

1.3.1. Değer

Yalın düşüncenin temelini oluşturan “Değer” kavramı müşterilerin ücretini ödemeye hazır olduğu ürün veya hizmetler bütünü olarak tanımlanabilir. Değer, yalnızca üretici tarafından üretilir ancak üretilen ürün veya hizmetin değer olup olmadığı sadece nihai müşteri tarafından belirlenir (Akyüz ve Çetin 2009, 3).

Geleneksel bir üretim hattını yalın bir sürece dönüştürürken kritik başlangıç noktası, değerın nihai müşteri bakış açısından belirlenmesidir. Çünkü yalın üretimin amacı, sistemde yapılacak her faaliyetin ürüne değer katmasıdır (Engelund, Breum ve Friis 2009, 6).

Yalın üretimi, seri üretimden ayıran en büyük özelliklerinden biri değer kavramını müşterilerden alınan verilere göre belirlemesidir. Seri üretimde değer, tahmin, pazar fiyatı, rekabet, tedarik kolaylığı ve üretilen ürün gibi durumlar göz önünde bulundurularak belirlenir. Seri üretim sisteminde önce ürünler üretilir, müşterilerin ürünü satın alma oranlarına bakılarak ürün üretimine devam edilir, değiştirilir veya durdurulur. Yalın üretimde ise pazar araştırmaları ile müşterilerin

talep ettiği değer belirlenerek üretim yapılır. Bu sayede ürünün talep görüp görmeyeceği ihtimali ortadan kaldırılır (Micietova 2011, 213).

1.3.2. Değer Akışı

Üretim sürecinde ürünün tasarımından, müşteriye teslim edilmesine kadar katma değer katan ve katmayan tüm faaliyetlere “Değer Akışı” adı verilir. Yalın üretimde üretilen ürün, değer olarak tanımlandığı için yapılan tüm üretim aktiviteleri de değer akışı olarak adlandırılır (Ayçın 2016, 13).

Değer akışı tasarım, tedarik, taşıma ve teslimat gibi üretimde uygulanan tüm süreçleri içerdđi için içerisinde çok fazla israf bulundurur (İnce 2018, 41). Değer akışı ile amaç değer katan, değer katmayan ancak yapılması zorunlu olan ve israf olan aktivitelerin belirlenerek akışta gerekli iyileştirmelerin yapılmasını sağlamak, israfları ortadan kaldırmak ve yalın bir akış sistemi oluşturmaktır (Hicks 2007, 236).

Değer akışının görselleştirilmesi ve rahat bir şekilde analiz edilebilmesi, israfların ortadan kaldırılarak yalın bir akış oluşturulması için yapılması gereken önemli bir uygulamadır. Değer akışının görselleştirilmesi “Değer Akışı Haritalama” olarak adlandırılır (Engelund, Breum ve Friis 2009, 6).

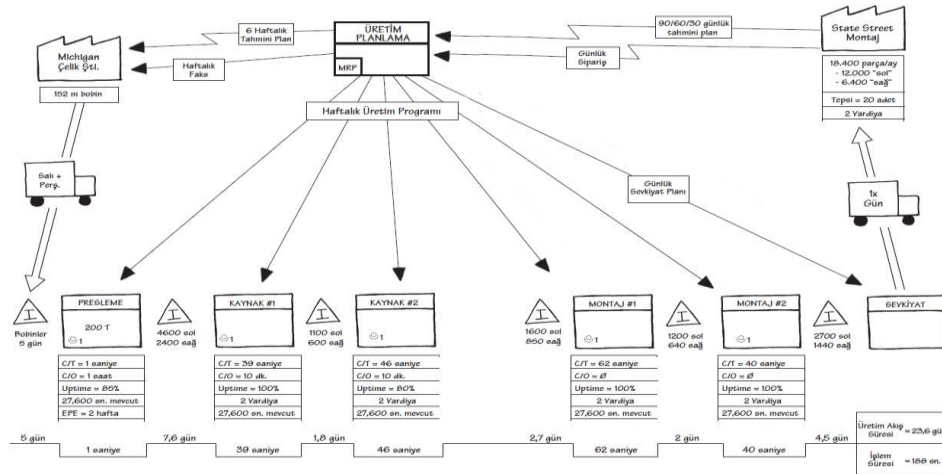
1.3.2.1. Değer Akışı Haritalama

Womack ve Jones (2017)’a göre değer akışı haritaları, üretim sisteminde uygulanan malzeme ve bilgi akışının tanımlanmasını sağlayan görsel bir araçtır (Dağcı 2019, 17).

Yalın üretim tekniği olarak da kullanılan değer akışı haritalama yöntemi, hammaddeden müşteriye kadar yapılan tüm prosesleri sırasıyla ve sembolleriyle tek sayfa olacak şekilde görselleştiren bir yöntemdir (Kaşıkçı 2015, 20).

Her parça ailesi için ayrı oluşturulan değer akışı haritalama yöntemi ile amaç tüm süreci tek sayfada inceleyerek israfların belirlenmesini ve akıştan çıkarılmasını sağlayarak gelecek durum haritasını oluşturmaktır (Garnett, Jones ve Murray 1998, 6).

Bu teknikte işletme, hammadde tedarikinden başlayarak müşteriye kadar uyguladığı tüm prosesleri gerekli sembolleri kullanarak sırasıyla çizer. Yapılan bu çizime “Mevcut Durum Haritalaması” adı verilir. Devamında israflar belirlenerek akıştan çıkartılır. Sonrasında işletme için gelecek durumun nasıl olması gerektiği belirlenir ve gelecek durum haritalanır. Bu noktada gelecek durum mevcut durumun yerini aldığı için yeni bir gelecek durum planı çizilmesi gerekir. Sürekli olarak bunu tekrarlayan işletme değer akışı haritalarında ve üretim sisteminde sürekli iyileştirme yapmış olur (Kaşıkçı 2015, 20). Şekil 4’de bir değer akışı haritalama örneği bulunmaktadır.



Şekil 4. Değer Akışı Haritalama Örneği

Kaynak: <https://lean.org.tr/deger-akisi-haritasi-vsm-nedir/> (20.11.2020) tarihinde erişildi.

1.3.3. Sürekli Akış

Hedeflenen değer akışındaki israflar ortadan kaldırıldıktan ve katma değer üretmeyen zorunlu adımlar minimuma indirildikten sonra değer, tasarımdan müşteriye kadar kesintisiz bir şekilde akışının sağlanmasına “Sürekli Akış” adı verilir

(Dağcı 2019, 14). Sürekli akış ile amaç, üretim süreçlerinin bekleme, duraklama, geriye dönme gibi sorunlar yaşamadan ilerlemesini sağlamaktır (Kaşıkçı 2015, 15).

Üretim süreci israflardan arındırıldıktan sonra ürüne değer katan proseslerin sistematik bir şekilde art arda gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır (Ergüneş 2014, 11). Yalın üretime göre üretimine başlanan bir değer nihai ürün olana kadar sistemde ilerlemeye devam etmelidir (İnce 2018, 43). Sistemdeki tüm prosesleri birbirine bağlayan bu düşünceden dolayı sürekli akışta bir sorun yaşanması tüm sistemin yavaşlamasına veya durmasına yol açar. Sistemde herhangi bir aksaklık yaşanmaması ve üretimin kesintisiz bir şekilde devam etmesi için prosese giren ürünlerin herhangi bir yavaşlama, durma veya yeniden işleme gibi bir durum yaşamadan procesten çıkması ve müşteriye ulaştırılması gerekmektedir (Aydın 2009, 22).

Sürekli akışın hızlı bir şekilde sağlanması yeni değerler üretmenin de daha hızlı gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Akışın hızlanması üretim süreçlerinde çalışan makine, alet ve çalışanların ortaklaşa hareket etmesiyle mümkün olur (Kesit 2019, 28). Tasarım aşamasından itibaren bir proses bittiği anda diğer prosesin sağlıklı bir şekilde başlatılması ve akış hızının mükemmellik seviyesine ulaştırılmaya çalışılması akışın hızlandırılmasını sağlar (Hicks 2007, 236).

1.3.4. Çekme Sistemi

Sonraki adımda bulunan müşteri talepte bulunmadıkça önceki adımda bulunan üretim sisteminde hiçbir ürün üretilmemesi “Çekme Sistemi” olarak tanımlanmıştır (Womack ve Jones 2003, 2). Bu tanımın tersini düşündüğümüzde sonraki aşamada bulunan prosesin önceki aşamada bulunan prosese bir talepte bulunması ve önceki prosesin sadece sonraki prosesin talep ettiği kadar ürün üretmesi de çekme sistemi olarak tanımlanabilir.

Yalın üretimde bütün üretim sistemi “çekme” üzerine kurulmuştur. Çekme sisteminde amaç müşteri taleplerinin üretime başlamadan belirlenmesini sağlayarak sadece talep edilen ürünleri üretmektir (Hicks 2007, 236). Çekme sistemi sayesinde talep karşılayamama, talep edilenden fazla ürün üretme, elde stok tutma ve hurda mal

retme gibi israflar engellenerek esnek bir üretim yapılması sağlanır (Ayçın 2016, 15-16).

Çekme sistemi sadece müşteri ve işletme arasında uygulanmaz. Üretim adımlarında Kanban kartları ile uygulanan çekme sisteminde sonraki adım herhangi bir ürün talep etmedikçe önceki adımda üretim yapılmaz (Kaşıkçı 2015, 16).

1.3.5. Mükemmellik

İlk dört ilkenin uygulanmasından sonra bu ilkelerin, üretim süreçlerinin ve müşteriye üretilmek istenen değer tanımının, sürekli iyileştirilmesi yalın düşüncenin mükemmellik ilkesini oluşturur (Garnett, Jones ve Murray 1998, 7).

Yalınlaşan bir sistemde israfların yok edilmesi, değer tanımı, değer akışı, sürekli akış ve çekme ilkelerinin uygulanması, dışarıdan bakıldığında sistemin yalınlaşması için yeterli bir durum olarak gözükebilir. Ancak işletmenin, ilkeleri bir kere uygulayıp devamında sistem için hiçbir iyileştirme yapmaması israfların büyüyerek tekrar ortaya çıkmasına, süreçlerin yavaşlamasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açacaktır (Engelund, Breum ve Friis 2009, 6).

Mükemmellik retim süreci ile bağlantılı her eylemin mükemmel bir şekilde yapılmasını sağlamaktır. Değişen müşteri talepleri, günlük iş yerinde oluşabilecek olumsuzluklar, gelişen teknoloji vb. durumlar sistemin her zaman farklı israflarla karşılaşmasına yol açacaktır (Hicks 2007, 236). Yalın düşünceye göre mükemmele ulaşmak mümkün değildir. Ancak mükemmellik ilkesinde sistem, çalıştığı her an yapılan bütün iş ve iyileştirmeleri mükemmel bir şekilde yapmaya çalışmalıdır. Sistem mükemmele ne kadar yaklaşırsa verimlilik ve performans da o kadar artacaktır (Womack ve Jones 2003, 1).

İKİNCİ BÖLÜM YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ

2.1. Tam Zamanında Üretim (Just In Time)

Literatürde bugüne kadar Tam Zamanında Üretim (TZÜ) hakkında çeşitli tanımlar yapılmış, yöntemin hedef ve teknikleri belirlenmiştir. Tezin bu bölümünde TZÜ sisteminden hem felsefe hem de üretimi iyileştirmek ve yalınlaştırmak için kullanılan, içerisinde çeşitli adımlar bulunan bir teknik olarak bahsedilecektir.

Literatürde TZÜ, Toyota Üretim Sistemi (Ohno 1978), Yalın Üretim (Womack, Jones ve Roos 1990), Yalın Düşünce (Womack ve Jones 1996) gibi birden fazla farklı tanım ile anlatılmıştır. Birçok yalın üretim tekniği, TZÜ sisteminin doğru çalışması ve sürekli iyileştirilmesi için kullanılmıştır. Ancak TZÜ felsefesine hakim olmayan bir sistemin sadece yalın teknikler ile yalınlaşması mümkün değildir.

TZÜ yalın düşünce olarak da tanımlanan bir felsefedir. Bu felsefenin amacı, talep eden birey, müşteri ya da sistem için doğru tanımlanan değerin, israflardan arındırılmış şekilde sürekli olarak talebe doğru akması ve talebin o değeri üreticiden çekeceği sürekli mükemmelliğe doğru giden bir sistem oluşturulmasıdır (Şeker 2016, 451).

TZÜ felsefesinin temelinde, değerin talep edildiği şekilde ve tam zamanında karşılanması bulunur. TZÜ sadece bir üretim şekli değil aynı zamanda bir düşünce sistemidir. Yalınlaşmak isteyen bir sistemde, TZÜ düşüncesinin kararlılık ile uygulanması ve sürekli mükemmelliğe doğru gidilmesi esas alınmalıdır.

TZÜ felsefesi, ekip çalışmasını benimseyen bir düşüncedir. Sistemde bulunan tüm bireylere bu felsefenin eğitimleri verilerek içinde bulundukları sistem hakkında bilinçlendirilmeleri sağlanmalı, bireyler yaptıkları işlerde aynı amaca doğru bir ekip olarak çalışmalıdır (Barın 2008, 346). Sistemin içindeki tüm bireyler yaptıkları işlerde bilinçli olmalı ve oluşabilecek hataları sisteme girmeden önce ortaya çıkartmaya çalışmalıdır.

TZÜ felsefesi doğru değer tanımlamasının olduğu her alanda kullanılabilir. Fakat, her birey veya işletmenin doğru değer tanımlaması farklıdır. Örneğin; iki kişinin yaptığı bir tartışmada üzerinde tartışılan konunun sonucu bir değerdir. Bu değere, israflardan arındırılmış şekilde ulaşmak için konuşulan konu dışındaki verilen örnekler, konuşmadaki gereksiz kelimeler vb. tüm aktiviteler israftır. Bu israfların önceden belirlenerek ortadan kaldırılması, israflardan arındırılmış konunun katma değer katılarak karşıdaki kişiye akıtılması, konuşmanın bitişine kadar hiçbir engel çıkmayacak şekilde sürekli akış ile devam edilmesi, elde edilen sonucun talep eden kişi tarafından çekilmesi son olarak da mevcut konuşma ve sonrasında değer olarak kabul edilecek diğer konuşmalarda sürekli mükemmelliğin aranması yalın düşüncenin 5 ilkesine uyarak tartışmanın yalınlaşmasını sağlayacaktır.

TZÜ felsefesi değerini olduğu her durumda kullanılabilir. Ancak değerini üretilmesi için gereken tesislerde TZÜ tekniklerinin kullanılmak istenmemesi yalın dönüşümün tam olarak sağlanamamasına neden olacaktır.

Uygulama kısmında TZÜ sistemi ile ilgili literatürdeki bazı tanımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- TZÜ tedarik, imalat ve pazarlama gibi faaliyetlerin tam zamanında yapılmasını amaçlamaktadır. TZÜ'ye göre çalışan tedarikçiler ihtiyaç duyulan malzemeleri tam zamanında, tam miktarında ve istenilen kalitede teslim eder. TZÜ üretim sisteminde, müşteri taleplerine göre üretim yapılır. TZÜ pazarlama sektöründe ise müşterilerin ihtiyaç duyduğu ürünlerin talep edilen miktar, kalite ve zamanda teslim edilmesidir (Tanabe 1992, 34).
- TZÜ sistemi, üretim zamanını büyük ölçüde kısaltan, değişken taleplere uyum sağlayan ve tüm üretim süreçlerinde gerekli zamanda gerekli ürünü üreten ayrıca üretilen ürün için minimum emniyet stoku bulunduran sistemlerdir (Sugimori, ve diğerleri 1977, 553).
- TZÜ, üretim hattında gerekli ürünlerin, gerekli miktarda ve gerekli zamanda üretilmesi ve tüm israf kaynaklarının ortadan kaldırılmasıdır (Matsui 2007, 153).

Aşağıda sıralanan adımların uygulanması ile TZÜ bir işletmede kullanılabilir (Vargün 2009, 254):

- Müşteri talebinin doğru alınacağı bir sistemin oluşturulması,
- Müşteri talebinin tam istenildiği şekilde tam zamanında ve karşılanacağı bir üretim planının yapılması,
- Tedarikçilerin sadece talebin üretileceği kadar ürünü talebe göre tedarik etmesinin sağlanması,
- Üretimin yapıldığı tesisin, üretim adımları arasındaki süreyi kısaltacak ve değişken taleplere hemen uyum sağlayabilecek şekilde yeniden düzenlenmesi,
- Sistemde bulunan tüm bireylere TZÜ sistemi eğitimlerinin verilmesi, niteliklerinin artması ve bütün bireylerin bir takım halinde çalışmasının sağlanması,
- Montaj adımından ilk adıma doğru üretim adımlarının, kendisinden bir önceki adımdan beklediği ürünleri belirlemesi ve üretimde çekme sisteminin oluşturulması,
- Üretim adımları arasındaki geçiş zamanlarının kısaltılması, malzeme hareketleri ve ara stokların kaldırılması veya minimuma indirilmesi,
- Üretimin bütün adımlarında küçük parti boyutları ile çalışılmasının sağlanması, sadece gerektiği kadar hammaddenin kullanılması,
- Makine ve iş gücünün sistemin akışına göre temin edilmesi, hazırlık sürelerinin düşürülmesi ve gerektiği kadar kullanılması,
- Kalite kontrolün üretimin her adımında o adımda bulunan işçiler tarafından sağlanması ve nihai ürün kalitesinin en üst seviyeye ulaştırılması,
- Sadece müşteri talebi kadar talep edilen ürünlerin yapılması ve talebin olmadığı durumlar için sistemin çalışmamasının sağlanması.

Yukarıdaki adımları uygulayan bir üretim tesisinde tam zamanında üretim yapılabilir. Ancak tam anlamıyla yalınlaşmak ve TZÜ sistemini bir bütün olarak uygulayabilmek için TZÜ sistemi hem felsefe hem de üretimde kullanılan bir teknik olacak şekilde birlikte kullanılmalıdır (Şeker 2016, 456).

TZÜ, verimliliği iyileştirmeye ve israfı azaltmaya yönelik tedarikçi, taşıyıcı ve müşteri arasındaki ortaklıktır (Christensen 1996, 7). Ürünleri tam olarak doğru zamanda, doğru miktarda, hatasız ve israfsız üretme ve tedarik etme sisteminin kurulması için kullanılır (Hong ve Hayya 1992, 175).

TZÜ sisteminde, üretimin içinde ve dışında gerçekleşen tüm israfların ortadan kaldırılması için sıfır hata ve sıfır stok hedeflerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. TZÜ sisteminin işletmeler için ideal olarak gösterdiği bu hedefleri pratikte gerçekleştirmek mümkün değildir. Burada amaç yalın hedeflere mümkün olduğunca yaklaşarak mükemmelliği yakalamaya çalışmaktır. Hiçbir işletme mükemmel olamaz. Ancak mükemmel olmaya çalışmak ve standartları mükemmelliğe yakın bir seviyeye yükseltmek TZÜ'nün amacıdır. Bu sayede işletme mükemmelliğe ulaşmak için sürekli olarak kendini geliştirecek ve israfları önleyip maliyetleri azaltarak tam zamanında üretim yapmaya çalışacaktır (Barın 2008, 346).

2.2. Tek Parça Akış

Yalın üretimde sıkça kullanılan “akış” sözcüğünün üretim hattında uygulanmasına Tek Parça Akışı denir (İnce 2018, 54). Bu teknik, üretilen bir parçanın stok olarak bekletilmeden üretim hattında ilerlemeye devam etmesini ve işleme giren parçanın kesintiye uğramadan nihai ürün olarak çıkmasını amaçlar (Çömez 2019, 18).

Tek parça akışı ve seri üretim sisteminin çalışma şekilleri arasındaki farklar aşağıdaki tanımlar sayesinde görülebilir (Marton ve Paulova 2013, 33):

Seri üretim sisteminde müşteri talepleri önceki dönemlere göre tahmin edilerek bir üretim planı oluşturulur. Üretim başlamadan önce üretilecek ürün sayısı ve modelleri belirlenir. Belirlenen sayıya göre hammadde ve parça siparişi verilerek üretime başlanır. Üretim hattının amacı, üretim planında belirlenmiş olan tarihe kadar istenen sayı ve modeldeki ürünleri üretmektir. Toplu halde üretim yapmayı hedefleyen işletmede, fabrika düzenlemesi makinelerine göre yapılır (Brown, Collins ve McCombs 2006, 3). Aynı işlemleri yapan makineler yan yana konumlandırılır. Bu aşamada makineler tam performansında çalıştırılır ve parçaların girecekleri proseslerden hızlı

bir şekilde çıkmaları hedeflenir. Plana göre, sipariş edilen tüm parçalar gruplandırılır ve işlem görecekları ilk prosesin önüne yığılır (Oduoza 2008, 182). Proseste bulunan tüm parçaların işlemi bitene kadar hiçbir parça bir sonraki prosese geçmez. Bu durum ilk işleme giren parçanın, tüm proses bitene kadar üretim hattında stok olarak bekletilmesi anlamına gelir. Tüm parçaların ilk prosesteki işlemi bittikten sonra işlenmiş parçalar toplu olarak sonraki proses için gerekli makinelerin bulunduğu bölüme taşınır. Bu durum parça taşımasının uzun sürmesine ve gereksiz hareket israflarının oluşmasına yol açar (Nuwer 1988, 810).

Tek parça akışı kullanılan bir üretim sisteminde ise müşteri talepleri alındıktan sonra taleplerin tam zamanında teslim edilmesi için esnek bir üretim planı yapılır. Üretim planının esnek yapılmasının sebebi sistemin ani talep değişimlerine adapte edilebilmesidir. Sadece müşterilerin talep ettiği ürünleri tam zamanında üretmeyi amaçlayan akış sisteminde, makineler parçaların gireceği proses sırasına göre konumlandırılır (Modrak 2009, 29). Bu sayede ürünler bir prosesten diğerine toplu bir şekilde taşınmaz. Parçanın işlem göreceği sonraki makine yakın olduğu için bazı durumlarda parçalar insan hareketine gerek duymadan diğer makineye yerleştirilir. Bu sayede gereksiz hareketlerin oluşturacağı israflar önlenmiş olur (Harman 1997, 23). Tek parça veya aynı proseste işlem görecekle küçük parti şeklinde gruplandırılan parçalar ilk prosese gelir (Ani 2012, 1). Bu adımda parçalar sırayla prosese girer ve işlem gören parça bekletilmeden ikinci prosese gönderilir. Devamında ikinci parça gelir ve işlemi bitince o da hatta durmadan son prosese kadar gider. Böylelikle işlem gören bir parça hiçbir şekilde hatta bekletilmeden montaj hattına kadar gitmiş olur. Bu durum süreç içi stok tutulmasını sağlar (Wang ve Li 2013, 373).

Tek parça akışının tam mükemmellikte sağlanması, üretimde uygulanacak diğer yalın teknikler için sağlam bir temel oluşturur. Bu sayede yalın teknikler üretim hattına daha rahat uygulanabilir ve bu tekniklerin tam verimlilikle çalışması kolaylaşır. Ayrıca yalın tekniklerin üretim hattına doğru bir şekilde uygulanması da akışın verimliliğinin artmasını sağlar. Böylelikle karşılıklı iyileştirme yapılmış olur.

Tek Parça Akışının avantajları aşağıdaki gibidir (Breyfogle 2007, 1):

- Taleplerin üretilmesi ve müşteriye ulaştırılma sürelerinin en aza indirgenmesini,
- İş süreçlerinin azaltılmasını,
- Hataların erken tespitini,
- Değişken müşteri taleplerine hızlı adapte olmayı,
- İsrafların daha kolay bir şekilde ortaya çıkarılmasını sağlar.

2.3. Kanban

Kanban, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) sistemindeki üretim ve tedarik akışını yönetmek ayrıca çekme sisteminin tam verimlilikle çalışmasını sağlamak için ortaya çıkarılmış bir yalın üretim tekniğidir (Cimorelli 2005, 1). Taiichi Ohno'nun ABD gezisinde yaptığı Genchi Gembutsu (yerinde görme ve inceleme) sırasında denk geldiği ve incelediği süpermarket çalışma sisteminin TZÜ sistemine entegre edilmesi ile oluşturulan bu teknik, TZÜ'de ve uzak doğuda "Çekme sistemi uygulama kartları" olarak adlandırılır. Ancak batıda bu teknik Japoncada kart anlamına gelen "Kanban" kelimesi ile tanımlanmaktadır (Fukukawa ve Hong 1993, 551).

Temelinde, çekme sisteminin tam verimli çalışması için kullanılan kartlara Kanban adı verilir. Çekme sistemi, TZÜ sistemi ile beraber Toyota'da hayata geçmiş ve Kanban sistemi ile birlikte hem üretim hattında hem de tedarikte görsel bir hale gelmiştir. Çekme sistemi, müşteri talebi kadar ürün üretme tekniğidir (Gupta, Al-Turki ve Perry 1999, 1066). Çekme sisteminin çalışma şeklini bir cümle ile özetleyecek olursak; talebin sondan başa doğru, üretimin ise baştan sona doğru yapılmasıdır.

Üretimde itme ve çekme olmak üzere iki tip sistem vardır. Bu iki sistem aşağıdaki gibi açıklanabilir (Ayçın 2016, 25):

İtme Sistemi: Seri üretim, başka bir deyişle geleneksel üretim sisteminin çalışma şekline itme sistemi denir. İtme sisteminde, genellikle önceki dönemlerde yapılan satışlar göz önünde bulundurularak bir üretim planı oluşturulur ve bu plana göre belirlenen sayıda ve modelde üretim yapılması hedeflenir. Üretim, belirlenen plana göre ilk prosesten başlar ve üretilen malzemeler sonraki prosese gönderilir.

Sonraki proses de kendisine gönderilen malzemeye göre üretim yaparak bir sonraki prosese gönderir. Son montaj hattına kadar bu şekilde giden itme sisteminde, üretim planına göre hedeflenen ürünler üretilir ve satışa çıkarılır (Bonney, ve diğerleri 1999, 54). Ürünler satışa çıktıktan sonra müşteriler, ihtiyaçlarına göre ürünleri satın alır. Ancak itme sisteminde, müşteri talepleri önceden tahmin edilerek üretim planlaması yapıldığı için oluşabilecek talep dalgalanmalarına karşı fazla miktarda emniyet stoku tutulur. Bu durum depolarda ve üretim hattında stok birikmesine yol açar.

Çekme sistemi: Sadece müşteriden gelen talep kadar üretim yapmayı amaçlayan bir yalın üretim tekniğidir. Çekme sisteminde ilk olarak müşteri talepleri alınır ve fabrikaya ulaştırılır. Sonrasında bu talepler üretim hattındaki son proses olan montaj ekibi tarafından incelenir. Montaj ekibi, müşteri taleplerini üretmek için ihtiyacı olan malzemeyi bir önceki procesten temin eder. Devamında bir önceki proses, montaj ekibinin temin ettiği malzemeyi üretmeye başlamak için kendisinden bir önceki prosese giderek ihtiyacı olan malzemeleri temin eder. Bu şekilde taleplerin sondan başa doğru gittiği bir üretim sistemi oluşturulur (Demir 2009, 33).

Üretim hattında sadece sonraki prosesin temin ettiği ürünlerin üretilmesi, hat içerisinde bulunan bütün proseslerin bireysel olarak üretime ne zaman başlayacağını ne kadar ürün üreteceğini bilmesini ve ona göre üretim yapmasını sağlar.

Çekme sisteminin temel amacı sonraki prosesin, önceki procesten ihtiyacı olan kadar malzemeyi çekmesi ve önceki prosesin sadece kendisinden çekilen kadar malzeme üretmesidir. Bu sayede müşteri talepleri tam olarak karşılanmış ve elde neredeyse sifıra yakın emniyet stoku tutulmuş olur (Savsar 1997, 205).

Çekme sistemi uygulaması zor bir sistemdir. Minimum miktarda emniyet stoku tutulduğu için proseslerde oluşabilecek herhangi bir yanlış üretim veya yanlış miktarda ürün çekme tüm akışın bozulmasına yol açabilir (Kaşıkçı 2015, 21). Akışta herhangi bir sorun yaşanmaması için fabrika içi ve fabrika dışı taleplerin doğru iletilmesi ve iletilen talepler kadar ürün çekilmesi gerekmektedir. Kanban kartları bu akışın tam mükemmellikte olmasını sağlayan bir haberleşme aracı olarak kullanılır.

Kanban kartları prosesler arası üretim emri verilmesi, parça ihtiyacı ve hammadde tedariki gibi haberleşmenin gerektiği her aşamada kullanılabilir. Sonraki proses ile önceki proses arasındaki talep iletişiminin doğru olması ve talebin ilk bakışta anlaşılması üretim akışının bozulmaması için önemlidir. Personel tarafından tek bakışta anlaşılabilir şekilde basit kelimeler ve küçük detaylar kullanılarak tasarlanan bu kartlar görsel olması sebebiyle bilgi kaçırma veya bilginin anlaşılması gibi sorunların da önüne geçmektedir.

Kanban gerekli talepleri yatay ve dikey olarak, hem üretim hattındaki prosesler hem de şirket ile dış tedarikçi arasında taşımak için kullanılır. Üretimin çeşitli aşamalarında kullanılması için geliştirilen birçok Kanban çeşidi bulunur ancak en önemli olarak nitelendirebileceğimiz üç farklı Kanban çeşidi vardır (Cimorelli 2005, 4-5):

Çekme Kanbanı: Sonraki istasyonun ihtiyacı olan parçaları, önceki istasyondan talep ettiği Kanban kartlarıdır. Çekme kanbanlarının üzerinde çekilecek parçaların miktarı, türü ve nereden nereye çekileceği gibi bilgiler bulunur (Chan 2001, 148).

Stok Raf No: 4D326 Arka No: B3.76			Önceki Operasyon
Parça Numarası: 548 45 D 34 Parça Adı: Tahrik Pimi Araba Tipi: Sx80 CF			Dövme F-4
			Sonraki Operasyon
			Talaşlı İmalat G-3
Kutu Kapasitesi	Kutu Tipi	Sayı	
18	C	5/8	

Şekil 5. Çekme Kanbanı

Kaynak: <https://www.donusumdanismanlik.com/kanban-nedir-uygulama-rehberi/> (29 Ekim 2020) tarihinde erişildi.

Üretim Kanbanı: Sonraki prosesin, önceki prosese üretilmesini istediği parçaların bilgisini verdiği Kanban kartlarıdır. Sonraki proses, üretimin ileriki

aşamalarında ihtiyaç duyacağı parçaları önceki prosese erkenden bildirerek, hemen üretime başlamasının sinyalini verir. Bu sayede ihtiyaç duyulacak parça tam işleme gireceği zamanda üretilmiş olur (Aydın 2009, 93).

Stok Raf E32-23	Parça Arka No: B2-45	Operasyon
Parça No	453 80 C 65	Talaşlı İmalat
Parça Adı	Tahrik Pimi	
Araba Tipi	FG85AD-456	

Şekil 6. Üretim Kanbanı

Kaynak: <https://www.donusumdanismanlik.com/kanban-nedir-uygulama-rehberi/> (29 Ekim 2020) tarihinde erişildi.

Tedarikçi Kanbanı: Üretimin ilk prosesi ile tedarikçiler arasında kullanılan Kanban çeşididir. İlk proses, ihtiyacı olan hammadde türünü, miktarını ve nereye ne zaman teslim edilmesini gerektiğini bu Kanbanlar aracılığı ile tedarikçilere iletir (Cimorelli 2005, 4).

Teslim Zamanı	Teslim edilecek depo rafı		Teslim Alan
	Parça No.	Araba Tipi	
Taşıeron Firma	Parça Adı	Kapı Tipi	Firmanın Adı
Taşıeron depo raf no.	Nihai Ürün No.	Kapasite	Teslim Alınan
	Satın Alınan Parça Kanbanı		Kapı

Şekil 7. Tedarikçi Kanbanı

Kaynak: <https://qdoc.tips/kanban-pdf-free.html> (29 Ekim 2020) tarihinde erişildi.

Kanban temelinde bir envanter kontrol sistemi değildir (Corona ve Pani 2013, 3). Ancak Kanbanlar tutulan stokları görsel olarak belirtecek şekilde Kanban

kutularında tutulur. Bu kutulardaki Kanbanları azaltmak sistemin ana amaçlarından biridir. Kanban kutularındaki Kanbanların azalması stokların azaldığının ve o prosesin işini tamamladığının bir göstergesidir. Kanbanların azalması ile bu proseslerde iyileştirme çalışmaları da rahatlıkla yapılabilmektedir (Aydın 2009, 92).

Kanban sisteminin avantajları aşağıdaki gibidir (Jyothi ve Rao 2012, 89):

- Kanban teknikleri daha efektif ve etkili bir üretim sağlar. Ayrıca kaliteyi artırır.
- Müşteri memnuniyeti ve sadakatini artırır.
- Kar marjını ve ciroyu artırır.
- Uluslararası ticareti teşvik eder.
- Çalışanların motivasyonunu, farkındalığını ve moralini yükseltir.
- Maliyeti düşürür ve üretkenliği artırır.
- Değişime hızlı adapte olunmasını sağlar.
- Fazla üretimi önler ve israfları ortadan kaldırır.

2.4. Kaizen

Kaizen sürekli ve aşamalı iyileştirme anlamına gelen Japonca bir kelimedir. Japonca'da “kai” değişim, “zen” ise iyi ve her zaman daha iyiye anlamına gelir (Palmer 2001, 55). Daha iyisi için değişim veya yalın üretimde kullanılan adıyla “sürekli iyileştirme” olarak tanımlanabilir. Hem bir kişisel gelişim hem de iş geliştirme yöntemi olarak Kaizen, sürekli daha iyisini yapmak için çalışma ve kendini veya işi geliştirme felsefesidir (Suarez-Barraza, Ramis-Pujol ve Kerbach 2011, 289). Kaizen felsefesine göre her şey geliştirilebilir ve iyileştirilebilir. Kaizen felsefesinin temel amacı evde, işte ve yaşamın diğer tüm alanlarında her gün bir önceki günden daha iyi olmak için adım atmaktır. Kaizen sırasında elde edilen iyileştirmeler küçük adımlar halindedir, ancak bunların bütününde ortaya israflardan ve kayıplardan arınmış sonuçlar çıkar (İnce 2018, 78). Ancak Kaizen ile verim elde edebilmek için Kaizen felsefesine disiplinli bir şekilde bağlı olmak ve geliştirilmesi amaçlanan aktiviteleri Kaizen düşüncesine göre şekillendirmek gerekir (Berger 1997, 111). Kaizen

felsefesine göre temel yaklaşım “Yaptığım her şeyde bir önceki günden daha iyi olmalıyım” şeklinde olmalıdır (Wittenberg 1994, 12). Bu şekilde Kaizen uygulanmaya başlanan herhangi bir aktivite en başından itibaren sürekli gelişerek ilerleyecek ve hatalar veya israflarla karşılaşılma olasılığı minimuma indirilecektir.

Toyota Üretim Sistemi’nde kullanılması ile üretimde de kullanılmaya başlanan Kaizen felsefesi, uygulanmaya başladığından beri yalın üretim sisteminin önemli tekniklerinden biri olmuştur.

Yalın üreticilere göre Kaizen tekniğinin üretimde kullanılması yalın düşüncenin mükemmellik ilkesine dayanmaktadır (Suarez-Barraza, Smith ve Dahlgaard-Park 2009, 145). Kaizen felsefesine göre hiçbir işlem, hiçbir akış veya hiçbir sistem iyileştirilme yapılmayacak kadar mükemmel değildir. Eğer bir sistemde iyileştirilme yapılmıyorsa ve mevcut durum mükemmel kabul edilip korunmaya çalışılıyorsa o sistem gerilemeye mahkumdur (Ölçücüoğlu 1995, 6). Mükemmelliğe ulaşmanın imkansız olduğu yalın üretim düşüncesinde, sistemde küçük adımlarla sürekli iyileştirmeler yaparak sürekli mükemmelliğe gitmeye çalışmak Kaizen felsefesi ile yalın üretimin birleştiği noktadır (Akıl 2013, 58).

Kaizen iş yerlerinde, üst yönetim, müdürler ve çalışanlar olmak üzere sistemdeki her bireyin katılımıyla ekip ruhu oluşturularak yapılan sürekli iyileştirme faaliyetleridir. Kaizen’i üretim sisteminin ilk adımından itibaren tüm sisteme uygulamak, üretimde karşılaşılabilecek hataların ve israfların anında belirlenerek çözülmesini ve üretilen değerde israf çıkma olasılığının minimuma indirilmesini sağlayacaktır (Prosic 2011, 175).

Kaizen, teknik araçların, üretimde harcanan zamanın ve maliyetin yavaş ancak devamlı olarak iyileştirilmesi ile gerçekleştirilir. Kaizen ile amaç, sonuçlardan çok sürecin iyileştirilmesidir (İnce 2018, 78). Bu sayede kısa vadede sonuçlarda iyileşme, uzun vadede ise gelişme elde edilir. Kaizen’in öncelikli amacı üretimdeki süreci küçük ama etkili değişiklikler ile daha iyi hale getirmektir. Sonuçların daha iyi olabilmesi, üretim adımlarının iyileştirilmesine bağlı olduğu için Kaizen, üretimde üretim adımlarına öncelik tanıyan bir yöntemdir (Bırakmaz 2013, 32).

Hyland vd. (2004)'e göre Kaizen'de insan faktörü çok önemlidir. Kaizen'e göre kullanılmayan insan aklı ve yeteneği en büyük israfların başında gelmektedir (Singh ve Singh 2009, 57). Bu nedenden dolayı Kaizen'in uygulandığı üretimde özellikle işçiler tarafından sürekli gerçekleştirilen küçük iyileştirmeler çok önemlidir. Kaizen iyileştirmede üretim adımlarına öncelik veren ve kişilerin üretim adımlarına yönelik çabalarını destekleyen bir yönetim sistemidir (Ayçın 2016, 37).

Imai (1986)'ye göre Kaizen Prensipleri aşağıdaki gibidir (Jacobson, ve diğerleri 2009, 1342):

- Sürekli iyileştirmeyi sağlayın.
- Hiçbir fikir önemsiz değildir.
- Sorunları tek tek belirleyin, bildirin ve çözün.
- Değişimi büyük yenilikler ile değil sağduyu, düşük maliyet ve düşük riskli iyileştirmeler ile sağlayın.
- Değişikliği hayata geçirmek için veriler toplayın, doğrulayın ve analiz edin.
- Kalite kusurlarının ana kaynağını süreçteki problemlerde arayın.
- Süreçteki değişkenliği azaltarak kalitenin artmasını sağlayın.
- Katma değer üretmeyen adımları belirleyin ve azaltın.
- Çalışanları değişimi hayata geçirmesi için yetkilendirin.
- Tüm fikirlere bir şekilde değinin ve yanıt verin.
- İsrafları azaltın.
- İşyeri temizliğini disiplinli yapın.

Yenilik ile Kaizen birbirini tamamlayan ve gelişimin anahtarı olan unsurlar olmasına rağmen birbirlerinden farklı kavramlardır (Öğünç ve Doğru 2017, 2). Yenilik, var olan sistemin yerine yenisinin getirilmesi, sisteme yeni makineler ve yeni parçalar eklenmesi ve büyük yatırımlar gibi köklü değişiklikler ile olur. Kaizen ise mevcut sistemin daha iyi işlemesi için sistem üzerinde yapılan küçük değişikliklerdir. Yenilikler, büyük yatırımlar, yeni teknolojiler ile kısa vadede gelişmeyi sağlarken,

Kaizen küçük yatırımlar ve küçük adımlar ile mevcut sistemi daha verimli hale getirip sürekliliğini sağlamaktadır.

Kaizen hedeflerine ulaşırken standart bir sistem oluşturmak çok önemlidir. Süreçlerin standartlaşması Kaizen iyileştirmelerinin yapılmasını da kolaylaştırır (Wittenberg 1994, 13). Kaizen ile belirlenen hedeflere ulaşmak ve standart bir sistem oluşturmak için süreç içerisinde ortaya çıkan problemler belirlenerek ortadan kaldırılmalıdır. Kaizen'e başlamanın ilk yolu problemlerin varlığını kabul etmek ve problemleri görünür kılmaktır. Kaizen ile problem ve israfların tek seferlik çözüme ulaşması değil, çözümün standartlaştırılarak üretimde bir daha ortaya çıkmaması hedeftir (Hasan ve Dutta 2017, 236).

Problem çözme, problemin tanımı ile başlamalıdır. Çünkü iyi tanımlanmış bir problemin çözümü kesin sonuçlar verir ve kalıcı olur. Her problem çözme tekniğinin hitap ettiği farklı bir alan vardır. Ortaya çıkan probleme göre doğru çözüm tekniği seçilmeli ve problemin çözülmesi sağlanmalıdır. Problem çözme tekniklerinin temelinde, problem çözme yaklaşımı olan ve günümüzde yalın üretim sisteminde de çok sık tercih edilen PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem al) döngüsü bulunmaktadır (Darmawan, Hasibuan ve Purba 2018, 98-99).

2.5. PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem Al) Döngüsü

PUKÖ döngüsü bir değişimi, çalışmayı veya problem çözmeyi gerçekleştirebilmek için adım adım plan yaparak sonuca ulaşmakta kullanılan sistematik bir araçtır. Döngü denmesinin sebebi tek seferlik değil, tekrar tekrar kullanılarak sürekli iyileştirmenin gerçekleştirilmesidir.

PUKÖ her sistemde sürekli iyileştirme için kullanılabilir. 4 adımlı bir problem çözme yaklaşımı olan PUKÖ problem çözme tekniklerinin nasıl kullanılması gerektiği konusunda bir rehberdir. PUKÖ adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Johnson 2016, 120):

- **Planla:** Söz konusu iş için 5N1K (neden, nasıl, ne zaman, ne kadar sürede, kim) yöntemi kullanılarak işin nasıl yapılması gerektiği kararlaştırılır. Görev dağılımları ve hedefler belirlenirken riskler veya karşılaşılabilecek zorlukların minimize edilmesi amaçlanır. Planlama kısmının nihai amacı müşteri talepleri ve işletme politikası arasında uyumluluk sağlayan bir iş planının tasarlanmasıdır.
- **Uygula:** Planla aşamasında belirlenen amaçlar, sorumluluklar ve hedefler uygula aşamasında hayata geçirilir.
- **Kontrol et:** Alınan önlemler ve belirlenen hedefler doğrultusunda çizilen yol haritasının efektif sonuçlar verip vermediği bu aşamada ölçümlenir. Kontrol et sürecini başlatan ve olumlu sonuç alındığını anlayan yetkililer doğru yolda olduklarını anlar ve tedbirlerini standart hale getirir. Kontrol et aşamasında elde edilen veriler beklentiyi karşılamıyorsa nedenleri tespit edilerek düzeltici önlemler alınır ve gerekirse döngü yeniden başlatılır.
- **Önlem al:** Planlama aşamasından uygulamaya, uygulamadan kontrol etmeye kadar tüm aşamalardaki sapmalar kontrol edilir. Gerekli önlemler alınır eğer gerekiyorsa döngü yeniden başlatılır.

2.6. 5S

5S israfları azaltmak, işgücü verimliliğini arttırmak, çalışma ortamını temiz ve düzenli tutmak için benimsenen bir yalın üretim tekniğidir (Bullington 2003, 56). 5S, üretim sisteminde yapılan günlük faaliyetlerin sorunsuz ve verimli bir şekilde akışının sağlanması için gereken düzen ve şeffaflığı sağlar. 5S tekniğinin başarılı bir şekilde uygulanması, çalışma koşullarını iyileştirerek çalışanların üretkenliklerini arttırmaya teşvik eder. Ayrıca israfların ve süreç içi envanterlerin de azaltılmasına yardımcı olur (Al-Omar 2011, 1606).

Üretim tesislerindeki verimliliğin azalmasına neden olan iş gücü israflarının büyük bir çoğunluğu çalışma ortamının pis ve düzensiz olmasından kaynaklanmaktadır (Kaşıkçı 2015, 17). Bir üretim tesisinin pis ve düzensiz olması israfların da bu düzensizliğin içerisinde gizlenmesine yol açar. Yalın üretime göre

temiz ve düzenli bir çalışma ortamı, üretim hattında oluşan israfların net bir şekilde ortaya çıkmasını, bu sayede hatta yapılacak iyileştirme çalışmalarının da daha verimli olmasını sağlar (Gapp, Fisher ve Kobayashi 2008, 566).

5S yalın dönüşüme başlayan bir işletmede uygulanması gereken ilk adımdır. 5S'in uygulandığı bir işyerinde mevcut prosesler için kullanılan malzeme ve alanlarda büyük ölçüde azalma olur. Ayrıca aletlerin ve malzemelerin düzenlenmesi ile işçilerin de çalışma şartları kolaylaştırılır. Bu sayede diğer yalın tekniklerinin de işyerine tam verimlilikle uygulanması için gerekli temel oluşturulmuş olur (Al-Omar 2011, 1607).

5S, Japoncada iyi bakım yapma kavramını temsil eden 5 kelimenin kısa yazılış biçimidir. Temsil ettiği 5 kelimenin de baş harfi "S" olduğu için bu tekniğe 5S adı verilmiştir (Filip ve Marascu-Klein 2015, 1). 5S'i oluşturan kelimeler ve bu kelimelerin çalışma şekli aşağıdaki gibidir (Chapman 2005, 28):

Seiri (Sınıflandırma): Sınıflandırma adımı, üretimde günlük olarak kullanılmayan her malzemenin hattın merkezinden kaldırılması ile başlar (Singh ve Ahuja 2015, 412). Bu aşamada çalışanların hangi malzemelere gerçekten ihtiyaç duyduğu dikkatli ve detaylı bir şekilde belirlenir. Daha sonra kullanılacak ve hiç kullanılmayacak malzemeler birbirinden ayrılarak gruplandırılır. Gruplandırılan malzemeler niteliklerinin yazıldığı kırmızı kartlarla etiketlenir. Gereksiz olarak belirlenen bütün malzemeler atılır ve geri kalan kullanılabilir malzemeler farklı bir yerde depolanır (Agrahari, Dangle ve Chandratre 2015, 181). Bu yöntem ile çalışanların kullandıkları malzemeleri tekrardan kontrol etme şansı olur. Ayrıca gereksiz aletlerin bulunduğu prosesten kaldırılması o prosesin daha rahat çalışmasını sağlar.

Seiton (Düzenleme): Gereksiz malzemeler atıldıktan sonra günlük olarak kullanılan malzemeler, çalışanların hızlıca erişebileceği şekilde en uygun konumlara yerleştirilir (Omogbai ve Salonitis 2017, 380). Konumlar net ve her çalışanın anlayabileceği şekilde belirlenir ve malzemeler kullanıldıktan sonra belirlenen konumlara geri bırakılır. Bu noktada, tüm çalışanların malzeme yerlerini daha hızlı bulabilmesi için konumlar görsel olarak belirlenmelidir (Duman 2019, 16). Konumları belirtmek için renkli kartlar veya küçük tabelalar kullanılabilir ayrıca aletin bulunduğu

konuma gölgesinin çizilmesi de düzenleme adımında çok sık kullanılan görsel yöntemlerden biridir (Singh ve Ahuja 2015, 413).

Seiso (Temizlik): Gereksiz malzemeler atılıp, günlük kullanılan aletler düzenlendikten sonra üçüncü adım olan temizlik aşamasına geçilir. Bu aşamanın amacı atık, kir ve hasarın temel nedenlerini belirlemek, bu nedenleri ortadan kaldırmak ve iş istasyonunu temizlemektir (Shinde ve Shende 2014, 141). Makinelerin ve proseslerin temizlenmesi ile kir, pas, tozlanma gibi durumlardan dolayı oluşacak makine arızalarının ve işçi yaralanmalarında oluşabilecek enfeksiyon gibi durumların önüne geçilir (Agrahari, Dangle ve Chandratre 2015, 182). Ayrıca temiz bir çalışma ortamı yapılan işin daha kaliteli olmasını ve oluşacak israfların daha rahat görülebilmesini sağlar.

Seiketsu (Standartlaştırma): İşletmede ilk üç madde yapıldıktan sonra bu adımların standartlaştırılması 5S tekniğinin devamlılığı için gerekli olan önemli bir unsurdur. 5S'in uygulandığı ilk gün elde edilen temizlik ve düzen her gün aynı şekilde elde edilmelidir (Chapman 2005, 30). Ancak işçiler belirli bir yerden sonra kendi işleri dışında gördüğü 5S adımlarını yapmama veya verimsiz bir şekilde yapmaya eğilim gösterebilir. Bu noktada 5S'in her gün aynı kalitede devam edebilmesi için gereken kurallar ve planlamalar yapılır. Vardiyalar oluşturmak, standartlaştırılmış prosedürler belirlemek, farklı ekipler oluşturarak 5S'in iş yüküne yaptığı etkiyi minimuma indirmek bu planlamalardan bazılarıdır (Falkowski ve Kitowski 2013, 128).

Shitsuke (Disiplin): İlk dört madde ile her gün 5S'i doğru bir şekilde uygulamak 5S'in temelidir. Ancak bu tekniğin uzun yıllar boyunca aynı disiplin ile uygulanabilir olması herkesin katılımı ile mümkün olmaktadır. İşe yeni başlayan ve hali hazırda çalışan herkesin 5S için istekli olması, her gün 5S çalışmalarına katılması ve bu kültürün uzun yıllar boyunca devam etmesinin tek yolu disiplini sağlamaktır (Costa, ve diğerleri 2018, 3-4). Bu noktada yöneticiler doğru kuralları uygulayarak ve 5S'in önemini anlatarak çalışanların 5S'i aksatmadan tam verimlilikte yapmasını sağlamalıdır. Aksi takdirde yapılan bütün 5S çalışmaları zaman geçtikte eski haline döner (Shinde ve Shende 2014, 142).

5S ile düzen ve temizliğin sağlandığı işletmelerde görülen bazı yararlar aşağıdaki gibidir (Al-Omar 2011, 1607):

- Şeffaflaşan süreç akışı sağlanır.
- Temiz ve düzenli çalışma alanları oluşturulur.
- Kurulum ve döngü süreleri kısalır.
- Fabrika alanlarının kullanım verimi artar.
- İş güvenliği sağlanır.
- Hareket israfları azalır.
- Makine ve ekipmanların daha uzun ömürlü olması sağlanır.

2.7. Jidoka

Tam Zamanında Üretim (TZÜ) ile beraber yalın üretimin temel tekniklerinden biri olan Jidoka, makine ve operatörlere üretim hattında anormal bir durum oluştuğunda hattı durdurma yetkisinin verilmesidir (Philips Jr. 2003, 38). Jidoka ile üretim hattındaki anormal bir durumu otomatik olarak fark edilebilir bir hale getirmek amaçlanır (Demir 2009, 45). Bu sayede işçiler tek bir makinenin başında durmadan birden fazla makine ile ilgilenebilir ve herhangi bir hata oluştuğunda üretim hattı duracağı için hatanın kök çözümünün üretim hattında uygulanması sağlanır.

Jidoka tekniği 3 farklı amaç ile açıklanabilir ve bu amaçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Jidoka, üretim bandında oluşan herhangi bir ekipman veya makine arızasının giderilmesi için kullanılabilir (Sivaslı 2006, 21-22). Üretim esnasında oluşacak makine veya ekipman arızasının başka sorunlara yol açmaması için üretim bandı durdurularak operatörler tarafından arızanın kök nedenlerinin belirlenmesi ve aynı arızanın bir daha yaşanmayacak şekilde çözülmesi amaçlanır.
2. Jidoka'nın sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için üretim hattında çalışan işçilere Jidoka sistemi ve makinelerin eğitimleri verilerek gerektiğinde üretim hattını durdurabilecek niteliklere ulaşmaları sağlanmalıdır (Szmelter 2012,

153). Böylece, bir işçi birden fazla makinenin sorumluluğunu alabilecektir. Ayrıca makinelerin, arıza, ürün hatası, istenilen ürün modeli veya istenilen ürün sayısına ulaşması gibi durumlarda kendi kendini durdurabilecek şekilde dizayn edilmesi, her makinenin başında gün boyu bir işçinin beklememesini sağlayacak ve istenilenden fazla ürün üretilmeyecektir. Bu sayede fazla üretim olmayacak, üretim hattı talep değişimlerine daha hızlı adapte edilecek ve iş gücünden tasarruf sağlanacaktır (Ahlström 2015, 1).

3. Jidoka'nın bir diğer amacı kaliteyi yerinde üretmektir. Üretim bandında fark edilen herhangi bir ürün hatasında üretim tamamen duracağı için hatalı ürünün bir sonraki adıma geçmesi önlenir ve hatanın olduğu adımda giderilmesi sağlanır. Bu sayede ürün daha fazla işleme girmeden hata düzeltilir. Devamında ürün istenilen kaliteye ulaştırılarak sonraki prosese gönderilir (Szmelter 2012, 152). Jidoka, üretimin her adımının kontrol edilerek kalitesiz ürün üretilmemesini bu sayede yalın üretimin en önemli amaçlarından biri olan “sıfır hata” seviyesine yaklaşılmasını ve üretim bittikten sonra tekrar kalite kontrol yapılmamasını sağlar.

Üretimin sonunda yapılan kalite kontrollerinde kalitesiz ürün bulunma ihtimali Jidoka kullanmayan bir sistemde kullanan bir sisteme göre çok yüksektir (Dhafr, ve diğerleri 2006, 539). Sürecin sonunda belirlenen kalitesiz ürünler, ürünlerin tekrar işleme girmesine ve hatalı ürünlerin kalitesinin artırılması için yapılan işlemler için fazla stok tutulmasına, gereksiz iş ve makine gücünün harcanmasına neden olur. Üretimin sonunda yapılan kontrollerde, kalitesiz çıkabilecek ürün sayısı ve ürünlerin hangi adımda hatalı üretilebileceği önceden tahmin edilemediği için elde fazladan stok tutulması gerekir. Ayrıca fark edilmeyen kalitesiz ürünlerin müşterilere sunulması müşteri şikayetlerine ve güvensizliğe yol açar. Jidoka sisteminde süreç sonunda tekrar kalite kontrolünün yapılmamasının sağlanması ile gereksiz stok tutma, gereksiz zaman, gereksiz işlem, gereksiz makine ve iş gücü gibi israfların önüne geçilmiş olur. Bu sayede tam zamanında yüksek kaliteli ürünler üretilmesi sağlanır.

Jidoka'yı gerçekleştirirken işçilerin oluşan hatayı haber vermesi veya sistem durumunu yetkililere bulunduğu yerden bildirebilmesi için kullanılan yardımcı araçlara “Andon” adı verilmektedir (Romero, ve diğerleri 2019, 900).

2.8. Andon

Jidoka'ya yardımcı olmak için Toyota Üretim Sisteminden beri kullanılan Andon'un çıkış amacı üretim bandında oluşan sorunları hızlı bir şekilde açığa çıkarmak ve sorunun çözülmesi için yetkililere haber vermektir (İsmail 2013, 7). Bu şekilde üretimin fazla bir kayıp yaşanmadan devam etmesi amaçlanmaktadır.

Basit bir Andon'da kırmızı, sarı ve yeşil ışık bulunur. Üretim hedeflendiği gibi gidiyorsa yeşil, üretim bandındaki işçi herhangi bir yardım istiyorsa sarı, üretim hattının durdurulmasını gerektirecek kadar büyük bir problem varsa kırmızı ışık yanar (Reyes, ve diğerleri 2019, 45). Günümüzde Andon, üretim hattının durumunu detaylı bir şekilde gösteren panolar halinde de kullanılmaktadır (Ma, ve diğerleri 2017, 79). Şekil 8 ve 9'da sırasıyla basit ve gelişmiş Andon panoları gösterilmiştir.



Şekil 8. Basit Andon

Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Stack_light (09.11.2020 tarihinde erişildi)



Şekil 9. Andon Panosu

Kaynak: <https://yalindanisman.com/andon/> (09.11.2020 tarihinde erişildi)

2.9. Poka-Yoke

Poka-Yoke, üretim sisteminde oluşabilecek insani hataları, hatalar oluşmadan önce engellemek için oluşturulan bir yalın üretim tekniğidir. Shiego Shingo tarafından 1986 yılında ortaya çıkarılmış ve Toyota Üretim Sistemine entegre edilmiştir (Burlikowska ve Szewieczek 2009, 97). Poka-Yoke yalın üretimde Jidoka'nın daha iyi çalışması ve hataların henüz oluşmadan önlenmesi amacıyla da kullanılır (Kaşıkçı 2015, 25).

Poka-Yoke, üretim bandında bulunan işçilerin dikkatsizlik, dalgınlık, boş vermişlik, işe hakim olmama vb. nedenlerden dolayı hata yapmalarını önlemeyi amaçlayan metotlar ve ekipmanların, üretim bandında daha önce hata oluşan veya oluşabilecek kısımlarına eklenmesi ile gerçekleştirilir (Erlandson, Noblett ve Phelps 1998, 270). Bu ekipmanlar, işçiler hata yaptığında ışıklı veya sesli uyarı veren ekipmanlar olabildiği gibi işçilerin hata yapmasına en başından imkan vermeyecek şekilde tasarlanmış ekipmanlar da olabilir.

Ercan (2013)'a göre; Shingo otuz yıl süresince hataların önlenmesi üzerine çalışmaya devam etmiştir. Shingo'ya göre üretimde oluşacak hatalar kaçınılmaz aktivitelerdir. İnsanlardan çalıştıkları her an odaklanmaları ve onlara verilen eğitimleri tamamiyle anlayıp uygulamaları beklenemez (Kılıç 2016, 43). Shingo'ya göre insani hatalar, üretim adımlarında plan dışı oluşan ancak üretilen ürüne yansımayan aktivitelerdir. Kusur ise çözülmeyen hatanın sonraki adımlara geçmesi ile ürüne yansıyan aktivitelerdir. Shingo'ya göre hatalar düzeltilip süreç iyileştirilerek kusurlardan tamamiyle kaçınılabilir ve sıfır hatalı üretim sağlanabilir (Fisher 1999, 264). Poka-Yoke, insan hatalarını yok etmek için otomatik ekipmanlar kullanan hata önleyici süreçlerin bir yöntemidir. Bununla birlikte Poka-Yoke, yüzde yüz kontrol gibi katma değer katmayan fazla görevleri dışlar ve çalışanları daha deneyimli ve verimli kılma konusunda serbest bırakır. Bu nedenlerden dolayı işçiler daha verimli çalışır ve daha az hata yaparlar (Bayers 1994, 203).

Üretim sisteminde insan temelli birçok hata ile karşılaşmaktadır. İnsan temelli bazı hataların sınıflandırılmış şekli aşağıdaki gibi sıralanabilir (Zerenler ve Karaboğa 2014, 265):

- Unutkanlık,
- Alışkanlıklardan kaynaklanan hatalar,
- Teşhis ve tanımlama hataları,
- Amatör hatalar,
- Farkında olunan hatalar,
- Kasti olmayan dikkatsizliğe dayanan hatalar,
- Yavaş davranma ve kararsızlığa dayanan hatalar,
- Standart eksikliğinden kaynaklanan hatalar,
- Sürpriz hatalar,
- Kasti hatalar.

Poka-Yoke, Jidoka’da olduğu gibi sistemde oluşan veya oluşabilecek hataları ve hatalı ürünleri engelleyerek sistemde sürekli iyileştirme yapar. Bu sayede ürün kalitesinin artması amaçlanır. Poka-Yoke ile üretim sırasında yapılan hatalar tamamen engellenemez ancak doğru Poka-Yoke yöntemleri ile çabuk tespit edilebilir ve bir daha aynı hatanın oluşması engellenebilir. Bu durumda hatalı üretimden kaynaklanan kalite kayıpları ve maliyetin azalması sağlanır (Ayçın 2016, 36).

Poka-Yoke, günlük hayatta satın aldığı ürünleri kullanan müşterilerin hata yapmasını önlemek için de kullanılmaktadır. Örneğin; kullanıcı tarafından kapatılması unutilan kablosuz bir bilgisayar ekipmanının, kullanılmadığı zamanlar içerisinde kendini kapatarak pilden tasarruf sağlaması, tek bir yerde kullanılacak bir fişin çıkışları ile prizin girişlerinin sadece doğru takılabilecek şekilde dizayn edilmesi bu sayede ters takma vb. hatalarının önüne geçilmesinin sağlanması gibi uygulamalar ile müşterilerin ürünü kullanırken hatalarla karşılaşmasını önler (Tommelein 2008, 199-203).

2.10. Altı Sigma

Altı Sigma müşteri ve işletme verilerinin istatistiklerinden yola çıkarak en uygun süreç iyileştirmelerini uygulamayı amaçlayan bir yönetim anlayışıdır (Aktar ve Akın 2018, 20). Altı Sigma, süreçlerde oluşan değişkenlikleri ve israfları minimuma indirmek için istatistiksel varsayımlar kullanır ve bu varsayımların hata oranını

milyonda 3,4 olarak hedefler (Antony 2006, 235). Veri analizleriyle elde edilen istatistikler ve müşteri talepleri birlikte değerlendirilerek, süreç ve ürün kalitesini iyileştirmek için gerekli planlar yapılır. Sigma liderleri bu planlara göre çalışanların da katılımıyla sistemin tüm süreçleri için iyileştirme çalışmaları yapar. Altı Sigma, sadece üretim süreçlerinin değil finans, raporlama, talep tanımlama gibi süreçlerin de iyileştirilmesi ve iyileştirilen süreçlerin sürdürülebilirliğinin sağlanması için çalışarak sistemi bütünüyle iyileştirmeyi amaçlar (Yang ve El-Halik 2003, 22).

Altı Sigma süreç iyileştirmelerini uygulamak için 5 adımlı “Tanımlama, Ölçme, Analiz etme, İyileştirme ve Kontrol etme” (Define, Measure, Analyze, Improve, Control – DMAIC) modelini kullanır (Yalçıntaş 2015, 42).

Tanımlama (Define): İyileştirilecek faaliyetlerin tanımlanmasıdır (Prashar 2014, 108). Daha yüksek yatırım getirisi, müşteri memnuniyeti vb. hedefler yönetim kısmında tanımlanabilecek en yüksek hedeflere örnek olarak gösterilebilir. Üretim hattında ise iş istasyonlarının iyileştirilmesi, iş hücrelerinin düzenlenmesi vb. faaliyetler örnek gösterilebilir. Ayrıca proje düzeyindeki iyileştirmelere de örnek gösterecek olursak proje kusurlarının düzeltilmesi ve veriminin artırılması gibi örnekler verebiliriz. Tanımlama adımı Altı Sigma’nın işletmede yapılan her sürecine gösterdiği ilgi açıkça görülebilmektedir.

Ölçme (Measure): Mevcut sistemin ölçülmesidir. İlk adımda tanımlanan hedeflere doğru yapılan ilerlemenin izlenmesi ve oluşan ilerlemenin taban değerler ile arasındaki farkın doğru ölçüm teknikleri ile belirlenip kaydedilmesidir (Antony 2006, 240).

Analiz Etme (Analyze): Sistemin analiz edilmesidir. Süreçlerde israfların temel nedenlerinin ortaya çıkartılması, süreçlerde oluşan değişkenliklerin temelini anlamak vb. gibi iş verimsizliğine neden olan aktivitenin kök nedenlerini bulmaktır. Sonrasında veri analizi ve problem çözme teknikleri gibi uygulamalar ile elde edilen verilerin anlamlı bilgilere dönüştürülmesidir (Negi, ve diğerleri 2017, 455).

İyileştirme (Improve): Sistemin geliştirilmesi ve iyileştirilmesidir. İşlerin daha iyi, daha ucuz ve daha hızlı yapılması için yeni yöntemler bulunmasıdır. Ayrıca

bu yöntemlerin piyasadaki yöntemlerden farklı olarak sistemin karakteristiğine göre yaratıcı bir şekilde oluşturulması bu adımın önemli hedeflerindendir (Kwak ve Anbari 2006, 709).

Kontrol (Control): Sistemin kontrol edilmesidir. Sistemin tüm süreçlerinde yapılan iyileştirilmelerin baştan sona kontrol edilmesi ve bu iyileştirilmelerin süreklileştirilmesi için gerekli uygulamaların yapılması ile iyileştirilmiş sistemin kurumsallaştırılmasıdır (Pyzdek 2003, 1).

2.11. SMED

Türkçeye “Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi” olarak çevrilen SMED, farklı modellerde üretim yapan sistemler için geliştirilen bir kalıp değiştirme tekniğidir. Üretim bandından çıkan en son ürün ile aynı bantta üretilecek ilk ürün arasındaki süreyi kısaltmaya çalışan SMED’in çıkış amacı kalıp değişimlerini 10 dakikanın altına düşürmektir (İnce 2018, 63). Bu teknik 1950 yılında Shiego Shingo tarafından keşfedilmiş ve geliştirilmiştir.

1950 yılında Toyo Kogyo’nun Mazda fabrikasında iyileştirme çalışmaları yapan Shingo, Kogyo’nun isteği üzerine tam kapasitesinde çalışmayan büyük kalıp makinelerinin (350, 750 ve 800 ton) üretimde yarattığı darboğazı ortadan kaldırmak için çalışmalar yapmaya başlamıştır (Kemalbay 2012, 17). Çalışmasında, kalıp makinelerinin günün %3’ünden daha kısa bir süre boyunca tam verimlilikte çalıştığını geri kalan zamanda ise makinelerin boştaki durduğunu ve kalıp değişimlerinin çok uzun sürdüğünü tespit etmiştir (Shingo 1985, 22). Çalışma esnasında kayıp bir cıvata için makinelerin durdurulduğunu ve cıvata bulunana kadar çalıştırılmadığını gören Shingo, bunun anlamsız bir eylem olduğunu ve makineler çalışırken de cıvata arama gibi işlemlerin yapılabileceğini belirtmiştir. Çalışmanın sonucunda Shingo, hazırlık sürelerinin kısaltılabilmesi için iyileştirilmesi gereken 2 ana madde belirlemiştir bu maddeler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Pellegrini, Shetty ve Manzione 2012, 2354):

- **Internal Setup (İçsel Kurulum)**, sadece makine durdurulduğunda yapılabilen aktivitelerdir. Kalıp değişimi, motor bakımı, yağ değişimi gibi aktiviteler içsel kurulumla örnek olarak gösterilebilir (Agustin ve Santiago 1996, 215).
- **External Setup (Dışsal Kurulum)**, makine çalışırken de yapılabilen aktivitelerdir. Cıvataların yerlerinin belirlenmesi, üretim için gerekli malzemelerin taşınması, sonraki üretilecek ürün için gerekli planlamaların önceden yapılması gibi aktiviteler dışsal kurulumla örnek olarak gösterilebilir (Lozano, ve diğerleri 2017, 3608).

SMED tekniklerinin doğru uygulanması farklı modeller üreten bir üretim sistemi için oldukça önemlidir. Yukarıda bahsedilen adımların iyileştirilmesi sayesinde, iş gücü, zaman, fazla stok ve fazla maliyet gibi israflardan büyük ölçüde tasarruf edilir. Ayrıca bu iyileştirmeler ile daha kaliteli ürün üretimi, esneklik, farklı ürünler arasında daha hızlı geçiş, daha verimli iş gücü kullanımı, kısa üretim zamanı, yüksek kapasiteli ürün üretimi, düşük proses, ani değişen üretim planlarına hızlı adapte olma, iş güvenliği, verimli alan kullanımı gibi kazanımlar elde edilebilir.

İçsel ve dışsal kurulumun iyileştirilerek SMED'in doğru bir şekilde uygulanabilmesi için yapılması gereken 4 adım bulunmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibidir (Ayçın 2016, 34):

Ön Aşama: İçsel ve Dışsal Kurulumun Ayırt Edilebilmesi

Halihazırda iyileştirilmesi gereken sistemin tüm ayrıntılarıyla izlendiği, içsel ve dışsal kurulumların birbirinden ayrılmadan belirlendiği ilk adımdır. Bu adımda sistemde olan tüm aktiviteler gözlemlenerek not alınır, üretimin başlangıçtan bitişe kadar ne kadar zamanda yapıldığı kaydedilir, planlar oluşturulur, tesisin çalışma şekli ve çalışma planı gözlemlenir, gerekirse ihtiyaç duyulan her şey video kaydına alınır. Ayrıca işçilere sorular sorularak üretim hattı hakkında bilgileri ve görüşleri alınabilir (Ulutas 2011, 1195-1196).

1. Aşama: İçsel ve Dışsal Kurulumu Ayırma

SMED'in en önemli adımıdır ve en çok kazanım bu adımda elde edilir. Yapılan içsel ve dışsal kurulumlar bu adımda birbirinden ayrılır. İçsel ve dışsal kurulumlar listelendikten sonra sistemde bu listelemeye göre düzenlemeler yapılır. Örneğin; gerekli cıvatalar doğru bir şekilde yerleştirilir mümkünse cıvata kullanımı azaltılır, taşınması gereken malzemeler makinenin beklemesine izin vermeden önce taşınır, bir sonraki üretilecek üründe kullanılacak malzemeler makinenin işi bitmeden getirilir. Makinenin çalıştığı yerde temizlik ve düzen sağlanır. İçsel ve dışsal işlerin doğru bir şekilde ayrılması kurulum sürelerinde %30 ile %50 arasında azalma sağlar (Shingo 1985, 29).

2. Aşama: İç Kurulumları Dış Kurumlara Çevirme

Bu adımda içsel kurulumlar mümkün olduğunca dışsal kurumlara çevrilmeye çalışılır. Örneğin; bir kalıbın doğru üretilmesi için makine üzerinde ısınması bekleniyorsa bu içsel bir kurulumdur. Aynı makine başka bir ürün üzerinde çalışırken, farklı bir yerde kalıbın ısıtılma işleminin gerçekleştirilmesi içsel kurulumun dışsal kurulumla çevrilmesine örnek olarak gösterilebilir. Sadece 1. Aşamada %30-%50 arasında bir hızlanma sağlanıyor olsa bile bu adımda hızlanma oranını arttırmak mümkündür (Desai ve Rawani 2017, 2615).

3. Aşama: Kurulum Sürelerini Kısaltma ve Optimize Etme

Bu adımda 1. ve 2. Aşamada yapılan uygulamalar yeniden analiz edilir, kurulum sürelerinde yapılabilecek bütün kısaltmalar yapılır ve işçilere hazırlanan yeni sistem öğretilerek SMED'in mükemmele yakın bir şekilde çalışması sağlanır (Simoes ve Tenera 2010, 298).

Shingo'nun, çalışmasına 1950'de başlayıp 1969'da mükemmelleştirdiği SMED tekniği tarihte adı geçen büyük endüstri şirketlerine önemli kazanımlar sağlamıştır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir (Shingo 1985, 30):

- Toyota üretim tesisinde bir cıvata makinesinin kurulum süresi 8 saatten, 58 saniyeye düşürülmüştür.

- Mitsubishi üretim tesisinde bir sondaj makinesinin kurulum süresi 24 saatten, 2 dakika 48 saniyeye düşürülmüştür.

Ayrıca günümüzde Formula 1 sporunun bir parçası olan pit stoplar SMED tekniğinin en sık ve en verimli kullanıldığı alanlardan biridir. 2019 yılında Aston Martin Red Bull Racing pit stop ekibi 1,82 saniyede, Formula 1 aracını pit stop alanından çıkartarak dünya rekoru kırmıştır (Red Bull 2019).

2.12. Heijunka

Heijunka, Türkçede “Üretimi Seviyelendirme” olarak tanımlayabileceğimiz, üretim sistemini müşteri taleplerindeki dalgalanmalara göre düzenleyerek en uygun seviyeye sabitlemeye çalışan bir yalın üretim tekniğidir (Rewers, Trojanowska ve Chabowski 2016, 4).

Heijunka, müşteri taleplerindeki dalgalanmaların üretim tesisine fazla stok veya karşılanamamış talep gibi olumsuz sonuçların gelmemesi için geliştirilmiş bir tekniktir. Bu teknik, iş gücünü, tedarik sistemini ve değişken müşteri taleplerini belirli bir düzeye sabitleyerek, üretim sisteminin dönemsel veya ani talep değişimlerinden minimum düzeyde etkilenmesini sağlar ve standartlaşmış esnek bir üretim sistemi oluşturur (Hüttmeir, ve diğerleri 2009, 502).

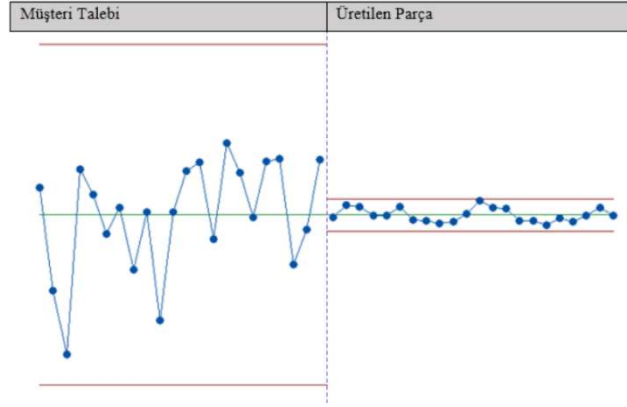
Heijunka, bazı noktalarda geleneksel üretim sistemine benzese de aslında çoğu noktada tam tersi bir tekniktir. Geleneksel üretim yapan sistemlerde de müşteri taleplerine göre farklı modellerde üretim yapılır ancak büyük partiler kullanılarak, talep edilen en yüksek miktarda ürün üretilir. Bu sayede kalıp değişimleri daha az sıklıkla olur ve müşteri talepleri karşılanır. Ancak büyük partilerde üretim yapmak elde daha fazla stok tutulması, iş gücünün fazla kullanılması, daha fazla hata payının olması, daha fazla hammadde tüketilmesi ve satılmayan ürünlerin daha fazla zarar ettirmesi gibi israfları ortaya çıkarır (Gerger 2019, 1). Heijunka’nın geleneksel üretim sistemine göre en büyük farkı ise küçük partilerle üretim yaparak daha sık kalıp değişimi kullanmasıdır.

Heijunka ile direkt olarak müşterilerin sipariş ettiği sayıda ve modelde üretim yapılmaz. Belirlenen bir dönem içerisindeki müşteri siparişleri incelenir ve bu dönemde verilen siparişler ele alınır. Daha sonra sipariş edilen ürün sayısı ve modelleri her gün mümkün olduğunca aynı sayıda ve sırada (model sırası) üretilecek şekilde bir arada dengelenerek, standartlaştırılmış karma üretim planı yapılır. Yalınlaştırılan bu üretim planı sayesinde her gün ne kadar iş gücü kullanılacağı, belirlenen dönem içerisinde ne kadar hammadde tedarik edileceği, elde ne kadar stok tutulacağı ve talep edilen siparişin müşteriye ne zaman teslim edileceği önceden belirlenmiş olur (İnce 2018, 59).

Heijunka sistemini aşağıdaki gibi bir örnekle açıklayabiliriz (Aydın 2009, 96):

X, Y, Z, T ve U modellerinde üretim yapan bir işletmemiz olsun ve müşterilerin haftalık olarak X ürününden 3, Y ürününden 5, Z ürününden 2, T ürününden 4 ve U ürününden 4 adet talep ettiğini varsayalım. Geleneksel üretim sistemlerinde bu talep her hafta XXXYYYYZZTTTTUUUU şeklinde üretilerek karşılanacaktır. Ancak üretimin başında ani olarak talep edilen bir U ürünü olması veya haftanın sonunda müşterinin 4 adet T ürünü sipariş etmekten vazgeçip, 2 adet T ürünü sipariş etmesi gibi durumlarda üretici bu talepleri karşılayamayacak ve müşteriye kaybedecektir. Heijunka ile bu üretim XYYZTTUUXYYZTTUUXY şeklinde yapılır. Bu sayede hafta içerisinde her üründen sipariş edildiği miktar kadar üretilir ve ani talep değişimlerine hızlı adapte olunarak esneklik sağlanır. Ayrıca bu esneklik sayesinde fazla stok veya karşılanamayan ürün olması ihtimali de ortadan kalkar.

Yukarıdaki örnek tamamlanmış küçük bir Heijunka sisteminin işleyişini temsil etmektedir. Heijunka'nın standartlaşmış şekilde tam verimle çalışabilmesi için miktar, ürün ve talebin birlikte dengelemesinin dışında diğer yalın tekniklerle desteklenmesi de sistemin mükemmelliğe ulaşmasını kolaylaştıracaktır. Çok sık model değişikliği olduğu için özellikle SMED tekniğinin üretim sisteminde doğru uygulanmış olması ayrıca dönemsel olarak hangi modellerde ve ne kadar sayıda ürün üretileceğinin belirlenmesinden sonra Kanban kullanılması Heijunka'nın da tam verimlilikte çalışmasına olanak sağlayacaktır.



Şekil 10. Müşteri talebindeki dalgalanmanın Heijunka ile üretim sistemine aktarılması (Gerger 2019, 13)

2.13. Grup Teknolojisi, Hücresel Üretim ve U Tipi Yerleşim

Grup Teknolojisi genel tanımıyla, ürünlerin tasarım ve üretim süreçlerini inceleyerek, bu ürünleri aralarındaki benzerliklere göre gruplandıran bir üretim yönetimi felsefesidir (Ardahan 1992, 268).

Grup teknolojisi, birbirine benzeyen problemleri bir araya getirerek hepsine tek bir çözüm bulur. Bulduğu çözüm sayesinde hem bu problemleri birlikte çözer hem de ileride karşılaşılabilecek benzer problemler için çözüm yolu bulmuş olur. Bu felsefe en çok üretim alanında kullanılsa da pazarlama, satın alma, uygulama ve planlama gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Kaşıkçı 2015, 22).

Grup teknolojisi üretim planlama aşamasında, benzer tasarımı olan ve benzer üretim sürecinden geçen parçaları gruplar. Bu gruplara “parça ailesi” adı verilir. Sonrasında bu parça ailelerinin işlem göreceği proses sırasını, sürekli akışın sağlanacağı şekilde belirler. Parça ailelerini işleyecek makine ve tezgahların belirlenmesi ile üretim hücreleri oluşturulur (Atmaca 2002, 285). Bu aşamada, hücrelerdeki parça ailesi üretiminin hatasız olması, devamında hücreler arası parça aktarımı ve montajında sorun çıkmaması için gerekli planlar yapılır. Grup teknolojinin üretimde uygulanmasına “Hücresel Üretim” adı verilir (Kant, Pattanaik ve Pandey 2015, 178).

Grup Teknolojisi, ilk kez 1940'lı yıllarda Sovyetler Birliği'nde ortaya çıkmış bir teknik olsa da hücresel üretim yönü ile üretim hattında yalın üretim sisteminin en önemli parçalarından biridir. Üretim sistemini mümkün olduğunca birbirinden bağımsız hücrelere ayırmaya çalışan ve bu hücrelerin kendi içerisinde hızlı ve verimli çalışmasını sağlayarak, sistemi bütünüyle iyileştirmeyi amaçlayan bir üretim anlayışıdır (Greene ve Sadowski 1984, 87).

Hücresel üretim, büyük parti boylarında üretim yapan sistemlerin karşılaştığı hız ve verimlilik sorunlarını çözmek içinde kullanılır. Üretim hattının, küçük parti boylarıyla çalışarak, proses tipi üretimin esnekliği ve akış tipi üretimin performansı ile çalışmasını sağlar (Kaya, Aydın ve Sevinç 2012, 2).

Hücresel üretim, bütün sistemi hücrelere böler ve her hücre birbirinden bağımsız olacak şekilde üretim yaparak sadece benzer parça ailelerini üretir. Makineler, hücrelerin içerisine işlem sırasına göre yerleştirilir. Hücrede çalışan işçiler sadece çalıştıkları makineleri değil, hücrede gerçekleşen bütün işlemleri bilecek ve herhangi bir durumda o hücredeki işlemi devam ettirecek şekilde eğitilir. Üretilen ürünün kalite kontrolü yine hücre içerisinde yapılır ve ürünün mükemmelliğe ulaştığı düşünüldüğünde sonraki hücreye aktarılır. Hücreden hücreye aktarılacak ilerleyen sistemin en sonunda nihai ürün ortaya çıkar (Ayçın 2016, 28).

Hücresel üretimin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Greene ve Sadowski 1984, 85):

- Nihai üründe bir hata olduğunda hatanın hangi hücrede yapıldığı bilinir. Bu sayede hatanın tespit edilme ve çözülme süresi kısalmaktadır.
- Hücrelerde sadece benzer parçalar üretildiği için bu parçalar zamanla daha kaliteli ve daha hızlı üretilir. Ayrıca karşılaşılabilecek hücre içi hatalar da her seferinde birbirine benzeyeceği için hatanın çözüm süresi kısalmaktadır ve hata yapma oranı azalır.
- Hücre içerisinde çalışan işçiler tüm prosese hakim oldukları için herhangi bir durumda birbirlerinin yerine geçerek üretim hattının akışını devam ettirebilir. Bu sayede iş gücü verimi artar ve iş gücüne olan ihtiyaç azalır.

- Herhangi bir talep dalgalanması ile karşılaşılması durumunda üretim sürecine hızlı müdahale edilebilir ve hücrelerde kalıp değişim süresi kısa olduğu için model değişimi yapmak kolaylaşır. Esneklik artar.
- Hücreler kendi içerisinde bağımsız çalıştığı için kendilerine gereken stok ve ürün miktarını bilirler bu sayede elde tutulan toplam stok adedi azalır.
- Hücre içerisinde birbiri ile ilişkili parçalar ve o parçalara göre makineler olduğu için akış üretiminin performansı artar.
- Hücre içi ve dışı hangi parçanın nerde işleneceği bilindiği için malzeme taşımalar ve gereksiz yürümler gibi hareket israfları azalır.
- Fabrika düzeni hücrelere ayrılarak yeniden yerleşim planı yapılır. Bu sayede fabrika alanı daha verimli kullanılır.

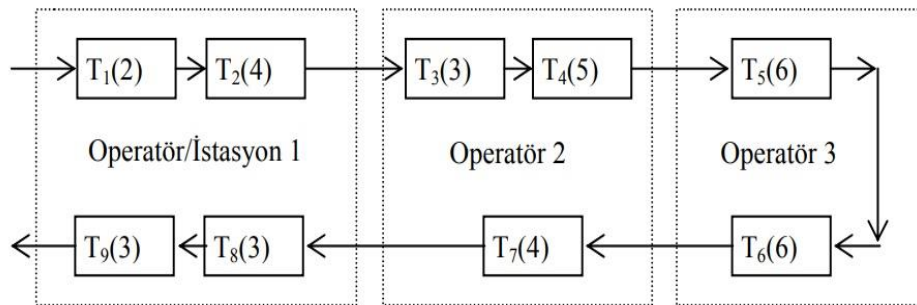
U tipi yerleşim tekniği, hücresel üretimdeki hücrelerin içini düzenlemek için kullanılır. Hücresel üretim tekniğinin tam verimlilikte çalışabilmesi, sürekli akış ile birlikte proses üretiminin de sağlanabilmesi için hücre içindeki makine ve tezgahların proseslere göre dizilmesi gerekmektedir. U tipi yerleşim tekniği, bu noktadan itibaren planlama aşamasında Grup Teknolojisi, uygulama aşamasında ise Hücresel üretimle birlikte çalışır ve bu iki tekniğin tam veriminde çalışmalarına yardımcı olur (Miltenburg 2001, 202).

Üretim tipine göre istenilen akışın sağlanması için çeşitli U tipi yerleşim metotları vardır. Basit U yerleşimi, birbirine bağlı U yerleşimi, çoklu U yerleşimi, bütünleşik U yerleşimi vb. metotlar örnek olarak gösterilebilir. Basit U yerleşimi tekniği, hücrelere ayrılan bir üretim sistemindeki hücrelerin içini veya tek bir U olacak şekilde çalışmayı amaçlayan bir üretim sistemini düzenlemek için kullanılır. Basit U sisteminde işçiler tek bir hücre veya tek bir U hattı içinde çalışır. Çoklu U yerleşimleri ise hücreler arası iş gücü kullanımı ve parça aktarımlarını da göz önünde bulundurarak, fabrikanın bütünü için ortaya çıkarılmış bir tekniktir (Kaya, Aydın ve Sevinç 2012, 2). Bu teknikte her bir hücrenin içi U şeklinde yerleştirilir sonrasında hücreler birleştirilerek üretim tesisi tek bir U hattına dönüştürülür.

U tipi yerleşim 1950’li yıllarda Taiichi Ohno tarafından keşfedilmiştir. Ohno’ya göre üretim hattında yaşanan pasif aktiviteler üretim verimini düşürmekte ve zaman israflarına yol açmaktadır. İşçilerin tesis içerisinde gereksiz hareket etmeleri, makineler çalışırken başında beklemeleri, birbiri ardına işlem yapması gereken makinelerin uzak olmasından dolayı parça taşımanın uzun sürmesi vb. aktiviteler pasif aktivitelere örnek olarak gösterilebilir (Demir 2009, 41).

Ohno’ya göre, pasif aktivitelerin ortadan kaldırılması ile kazanılan her zamanda, işçiler başka makine ve proseslerde çalışabilir. Bu sayede işçiler diğer makine ve prosesler hakkında bilgi sahibi olarak birçok farklı işte görevlendirilebilir. İşçilerin farklı proseslerde görev alabilmesi, yapılan işin daha az işçi ile yapılması, talep dalgalanması olduğunda işçilerin bir procesten diğerine hızlı adapte edilebilmesi ve iş gücünün kolay bir şekilde artırılıp azaltılablmesine olanak sağlar (Şeker 2016, 466). Bu faydaların sağlanabilmesi için üretim hattı düzeninin doğru planlanması ve işçilerin de bu plana uygun bir şekilde görevlendirilmesi gerekir.

U tipi yerleşimde, makine ve tezgahlar U oluşturacak bir hat şeklinde yerleştirilir. Prosesin ilk ve son adımı aynı yöndedir. İşlenecek parça, akışa girdiğinde sistemin düzenine göre saat yönünde veya tersi yönde ilerler. İşçi görev aldığı proseslerde parçayı işledikten sonra parçanın akışı, proses yönüne doğru devam eder. Bu adımda, işi biten işçiler farklı proseslerde görevlendirilir. Örneğin; parçayı 2. makinede işleyen işçi aynı hattın devamındaki 8. makineye geçerek oradaki prosesini uygular. Hattaki tüm makine ve prosesler hakkında bilgi sahibi olan işçiler, bu planlama ile akışın tam verimlilikle ilerlemesi için pasif aktivite uygulamaz. Bu sayede bütün işçilerden tam verimlilikle yararlanılmış olunur. U tipi üretim hattında bir parçanın işlemi bitmeden başka bir parça akışa dahil edilmez (Miltenburg 2001, 203).



Şekil 11. U Tipi Yerleşim Örneği (Ağpak ve Gökçen 2002, 31)

Şekil 11’de görüldüğü üzere 1, 2, 9 ve 8 numaralı prosesler, hattın girişinde ve çıkışında olmasına rağmen aynı operatör tarafından yapılmaktadır. 3 ve 4 numaraları hatlarda görev yapan operatörler, prosesin içerisinde 5. ve 6. adımı bekleyerek 7. adımda da görev almaktadır. Sistemin bütününe baktığımızda proseslerin ihtiyaç duyduğu işçi sayısı diğer prosesler tarafından karşılanmakta ve nitelikli işçiler sayesinde bu hattın işi minimum işçi sayısı ile yapılabilmektedir (Ağpak ve Gökçen 2002, 31).

Ohno, Toyota fabrikalarında standartlaştırdığı üretim sistemi ve U tipi yerleşim uygulamaları ile çok önemli kazanımlar elde etmiştir. 1983 yılında seri üretim yapan GM (General Motors) fabrikalarında bir yılda 463 bin işçi ile toplam 5 milyon otomobil üretilmiştir. Buna karşılık Toyota, aynı yılda 59 bin kişi ile 3 milyon 400 bin otomobil üretilmiştir. Rakamlardan yola çıkarak, GM fabrikalarında işçi başına 11 otomobil üretilirken bu rakam Toyota fabrikalarında 58 olmuştur. GM işçilerine göre yaklaşık 5,3 kat daha fazla performans gösteren Toyota işçileri bu başarısını yalın tekniklerin hep birlikte doğru uygulanması ile yakalamıştır (Çevik 2004, 41).

U tipi yerleşim tekniği sayesinde üretimde tek parça akışının performansı yüksek bir esneklik oranı ile sağlanmış olur. Bu tekniğin temelinde işçi ve makineler olduğunu düşünürsek, Shojinka ve Jidoka ile bu tekniği desteklemek sistemin tam mükemmellikte çalışmasını kolaylaştıracaktır.

2.14. Shojinka

Başta U Tipi Yerleşim tekniği içerisinde olmak üzere yalın üretimin en önemli ve en çok kullanılan tekniklerinden biri olan Shojinka, “İş Gücü Dengelemesi” anlamına gelmektedir (Wang, Yang ve Chang 2017, 255). Shojinka’nın çıkış temelindeki amaç ani talep iniş ve çıkışlarında, işçi sayısının talebe göre arttırılıp azaltılabilmesini sağlamaktır. Ayrıca Shojinka işçilerin hatta yaptığı bütün aktiviteleri kontrol eder ve akışın bozulmayacağı bir şekilde bu aktiviteleri planlar (Yılmaz 2020, 2).

Yalın Üretim felsefesine göre işçiler üretim sisteminin en temel unsurlarından biridir. Üretim hattında kullanılan iş gücü ne kadar verimli ve esnek kullanılırsa üretim hattının hızı, verimliliği ve esnekliği de o kadar artar. Aynı şekilde işçiler ne kadar verimsiz çalışırsa üretim hattının da verimi o kadar azalır. Yapılan üretim planlarının uygulanması, makinelerin doğru ve verimli çalışması, ürünlerin taşınması vb. üretimin başından sonuna kadar hatta yapılan aktivitelerin büyük bir çoğunluğu işçiler tarafından yapılır. Bu noktada kullanılan Shojinka tekniği ile amaç, nitelikli işçiler kullanarak veya hali hazırda kullanılan işçilerin niteliklerini arttırarak onların tam verimli şekilde çalışmasını sağlamaktır (Kılıç ve Ayvaz 2016, 35).

Yalın Üretim felsefesine göre yapılan iş ne kadar az işçi ile yapılıyorsa o sayı optimum işçi sayısıdır. Bu düşünce ile hattaki işçi sayısı, akışın tam verimlilikte sağlanacağı şekilde minimuma indirilmelidir. Çünkü işçiler pozitif yönden ne kadar önemli olsa da fabrikadaki pasif aktiviteler de sadece işçiler tarafından yapılır. Bu nedenden dolayı işçi sayısı akışı bozmayacak şekilde minimuma indirilmelidir.

Shojinka ile işçiler, öncelikle görevlendirildiği proseslere tam hakim olmaları için eğitilir. Devamında üretim hattında pasif aktiviteler yaşanmaması ve esnekliğin sağlanabilmesi için aynı işçiler, belirli zaman periyotları ile diğer proses ve makinelerde de görevlendirilerek, hattın bütünü ile ilgili yetkinliklerinin artması sağlanır. Bu sayede yapılan iş, fazladan iş gücü kullanılmadan optimal sayıda işçi ile yapılır. Aynı zamanda üretim hattındaki ani talep değişimlerine göre işçiler talebin çok olduğu proseslere aktarılır ve hattın değişken taleplere hızlı bir şekilde adapte olması sağlanır (Wang, Yang ve Chang 2017, 256).

Diğer üretim sistemlerinin çoğunda dönemsel olarak işçi alım ve çıkarımları yapılmaktadır. Bunun önemli bir nedeni dönemsel olarak artan veya azalan müşteri talepleridir. Ancak Shojinka tekniği ile tam veriminde çalıştırılan işçiler ihtiyaç duyulan her alanda çalışabildikleri için fabrika işçi sayısı değiştirmeye ihtiyaç duymaz. Bu sayede işçiler uzun yıllar boyunca aynı fabrikada çalışabilir.

İşçilerin eğitimi ve farklı proseslere rahat adapte olabilmeleri için işçiler hakkında sorular sorularak ve araştırmalar yapılarak bilgiler elde edilir. Bu sayede işçiler, yatkınlık ve yeteneklerine göre proseslerde görevlendirilerek uyumsuzluk

yaşama problemi ortadan kaldırılır. Ayrıca bu uygulama sayesinde işçiler daha mutlu olur ve çalışma motivasyonları artar.

2.15. Toplam Verimli Bakım

Üretim sektörü yıllar içinde geliştikçe fabrikalarda kullanılan makinelerin önemi daha çok artmıştır. Yalın üretim sisteminin müşteri taleplerine göre ürün üretebilmesi, makinelerin sürekli çalışır durumda olması ve gelen taleplere hızlı bir şekilde adapte olabilmesiyle sağlanmaktadır. Akış mantığıyla çalışan bir üretim sisteminde proseslerin akış hızında devam etmesi ve makinelerin de bu akışa uygun olarak, üretim devam ettikçe sorunsuz bir şekilde çalışması gerekmektedir. Akış içerisinde herhangi bir makinenin çalışmaması veya verimsiz çalışması üretim tesisine hem ürün üretimi hem de bakım maliyeti olarak büyük zararlar vermektedir (Blanchard 1997, 69).

1953 yılında Japon şirketler Amerika'nın makine bakımında kullandığı Önleyici Bakım (Preventive Maintenance - PM) sistemini incelemiştir. 1969 yılında, Japan Institute of Plant Engineers (JIPM) enstitüsü PM'de kullanılan bakım tekniklerini inceleyip, bu teknikleri kendi üretim sistemlerine uyarlayarak Toplam Verimli Bakım (TVB) sistemini hayata geçirmiştir (Ireland ve Dale 2001, 183).

TVB, tesislerde kullanılan makinelerin verimliliğini arttırmaya çalışmak ve makine arızalarından dolayı oluşacak üretim maliyetlerini engellemek amacıyla yapılan tüm iyileştirme çalışmalarına verilen isimdir (Dağcı 2019, 23).

TVB, makine ömrünü etkileyen tüm aktivite (kullanım, bakım, yağlama vb.) planlarının içinde bulunduğu kapsamlı bir bakım sistemi kurarak, makine verimliliğini ve ömrünü maksimum seviyeye çıkartmaya çalışır (McKone, Schroeder ve Cua 1999, 123).

TVB sisteminde kısa ve uzun vadeli olmak üzere 2 farklı plan oluşturulur. Bu planlar tüm tesisi kapsayacak şekilde yapılır ve tüm çalışanların bu planlara uyması amaçlanır. İlk olarak kısa vadede çok sık oluşan arızalar ve hali hazırda oluşmuş

arızalar tamir edilir. Arızalar çözüldükten sonra üretim hattına o anda yapılacak bakımlar belirlenir ve uygulanır. Uzun vadede ise öncelikle, makine arızalarının bir daha oluşmamasını sağlayacak şekilde koruyucu bakımlar yapılır (Dağcı 2019, 24). Devamında ise koruyucu bakımların sürekliliğinin sağlanması için çalışanlar tarafından günlük koruyucu bakım (yağlama, temizleme, yıkama vb.) çalışmaları yapılır. TVB için takım çalışması çok önemlidir. Çalışanların makineleri benimsemesi ve günlük bakımlarını yaparak, makine verimliliğini ve ömrünü arttırmayı kendilerine amaç haline getirmeleri TVB'nin tam verimlilikte çalışmasını sağlamak için uygulanması gereken temel adımdır (Chan, ve diğerleri 2005, 72). Aksi takdirde TVB sistemi çalışmayacak ve makine arızalarının bakım maliyetleri üretim tesisine zarar vermeye devam edecektir.

Toplam Verimli Bakım sisteminin faydaları aşağıdaki gibidir (İnce 2018, 77):

- Makinelerde oluşacak arızaların önüne geçilir.
- Makinelerde oluşacak arızalardan dolayı üretim hattının durması gibi hatta oluşacak bekleme israfları ortadan kaldırılır.
- Makine tamirâtı için tutulan stok miktarı minimuma iner.
- Makinelerin bakımlı olması sayesinde makinelerden dolayı oluşabilecek iş kazalarının önüne geçilir.
- Makine ayarlama zamanlarının düşmesini sağlar.
- Eskimiş makinelerin çalışabileceği maksimum seviyede çalışmasını sağlar.

2.16. Görsel Yönetim

Görsel Yönetim tarihin birçok farklı bölümünde kullanılmış olsa da yalın üretimle ilk ilişkisi, 1940'lı yıllarda Toyota Üretim Sisteminde kullanılması ile başlamıştır (Tezel, Koskela ve Tzortzopoulos 2009, 5). 1940'lı yılların sonlarında tecrübeli işçilerini II. Dünya savaşına göndermek zorunda kalan Toyota, fabrikasına katılan acemi işçilerin yapacakları işe daha hızlı adapte olabilmesi için kullandıkları standart çalışma planlarını yüksek görsellikle hazırlayarak iş istasyonlarına

yerleştirmiştir. Bu uygulamanın amacı, işçilerin standart çalışma planını tek bakışta takip edip edemeyeceğini anlamaktır (Tezel ve Aziz 2017, 487).

Ohno bu çalışmasından sonra işçi performanslarında artış görmesi nedeniyle Toyota fabrikasının en önemli çalışma prensiplerinden biri olan standart çalışma planlarını, mümkün olduğuunca görselleştirmiştir. Bu sayede görsel yönetim 1953 yılında Toyota fabrikasında kullanılmaya başlanmıştır (Parry ve Turner 2006, 77).

Toyota aynı yıllarda kendi keşfi olmayan balık kılçığı diyagramı, akış şemaları, kontrol sayfaları, Pareto diyagramı, histogram, kontrol grafikleri gibi yöntemleri de görsel yönetim sistemine entegre etmiştir. 1950 ve 1970 yılları arasında keşfedilen 5S, Andon, Poka-Yoke gibi yalın teknikler de sonradan görsel yönetimin içerisine dahil edilmiştir (Eaidgah, ve diğerleri 2016, 189).

Görsel yönetim, yapılacak proje ile ilgili bilgileri görselleştirmek, sonrasında yapılacak aktivitelerle ilgili gereksinimleri ve yönergeleri görünür kılabilmek için kullanılabilecek tüm araç ve yöntemleri içeren bir tekniktir. Görsel yönetim iki farklı şekilde kullanır (Eaidgah, ve diğerleri 2016, 197).

İlk olarak görsel yönetim sadece bilgiyi görselleştirmek için kullanılır (Bevilacqua, ve diğerleri 2013, 295). Yapılacak proje, değer akışı haritalama ve akış şeması gibi görsel araçlar kullanılarak kağıt üzerinde oluşturulur. Kısa ve uzun vadeli planlar, tedarikçi planlamaları, stok planlamaları, üretilecek ürün sayısı, zaman yönetimi vb. planlamalar bu kağıtlara yazılır. Bu adımda herhangi bir yönerge gösterimi, makine ve işçi çalışma planı veya yerleşim düzenlemesi gibi fabrika içi performans iyileştirme çalışmaları yapılmaz. Bu noktada amaç, projenin yüksek görsellik sağlanarak oluşturulması ve projeyi inceleyecek kişilerin ilk bakışta projeyi anlayabilmelerinin sağlanmasıdır.

İkinci olarak uygulama alanlarında kullanılan görsel yönetim tesis planlaması, üretim hücrelerinin oluşturulması, hücrelerin adlandırılması, makine yerlerinin belirlenmesi, işçilerin çalışacağı ve çalışırken kullanacağı aletlerin yerlerinin belirlenmesi, yönergelerin olduğu tabelaların asılması vb. fabrikanın içinde yapılacak her aktivite, gerekli görsel yönetim araçları ile belirlenir. Bu aşamada bilgileri

uygulama alanında görselleştirilerek gereksinimler ve eylem alanları da belirlenmiş olur (Jaca, ve diğerleri 2014, 1757).

Görsel iletişim sözlü iletişimde oluşabilecek israfların da önüne geçer. Bir üretim hattında herkes aynı dili konuşamayabilir veya istediklerini karşısındakine anlatmakta zorluklar yaşayabilir. Toplu bir işçi veya mühendis grubuna bir projeyi sözlü olarak anlatmak, anlatılan kişilerin belirli bir yerden sonra anlatılanı unutması, dikkatinin dağılmasından dolayı anlatılan bilgileri kaçırma vb. gibi durumların oluşmasına yol açabilir. Bu gibi durumların yaşanmaması ve iş akışının bozulmaması için hazırlanan görsel araçlar basit anlatımlarla herkesin anlayabileceği bir dilde hazırlanır. Bu sayede üretimin her adımında çalışanlar, işin hangi durumda olduğunu, yaptıkları işin üretim hattına ne gibi katkılar sağladığını, yapmaları gereken işleri, makinelerin durumunu, kullandıkları makine ve aletlerin yerlerini rahatça kontrol eder ve iş akışının bozulmadan devam etmesi sağlanır.

Bu çalışmada bahsedilen yalın üretim tekniklerinden birkaçı görsel yönetimin uygulanmasına yardımcı olmaktadır. Görsel yönetimde kullanılan yalın araçlar ile beraberinde kullanılan bazı görsel yönetim araçları aşağıdaki gibidir (Tezel ve Aziz 2017, 223-225):

Poka-Yoke: Poka-Yoke uyarı sistemleri görsel yönetime yardımcı olan araçlardan biridir. Hata olduğunda ışıklı ve sesli bir şekilde uyarılar veren bu sistem, üretim hattında herhangi bir terslik olduğunda hattın durdurulmasını ve sorun çözülene kadar tekrar çalışmamasını sağlar. Hatta çalışan işçi ve operatörlere görsel ve duysal bir şekilde haber veren Poka-Yoke görsel yönetimde sıkça kullanılan araçlardan biridir (Burlikowska ve Szewieczek 2009, 97).

Kanban: Kanban sistemi görsel yönetimde özellikle akışın kesintiye veya yavaşlamaya uğramamasını sağlayan önemli yalın tekniklerden biridir. Kanban kartları, çalışanların konuşmaya ihtiyaç duymadan sadece görsellik ile kendi arasında rahat bir şekilde iletişim kurmasını sağlar. Kanban kartı üzerinde bulunan talimatlara göre üretim yapan işçiler, tek bakışta hangi parçayı ne kadar zaman içerisinde üretmesi gerektiğini, nerede üretmesi gerektiğini ve üretilen parçayı nereye teslim edeceğini

bilir. Bu sayede karşılıklı anlaşmazlık, bilgi eksikliğinden kaynaklanan yanlış üretim ve yavaş üretim gibi olumsuz durumların önüne geçilir (Chen ve Cheng 2018, 989).

Heijunka: Heijunka sistemi, Heijunka panoları ile görsel yönetime yardımcı olan bir başka yalın üretim tekniğidir. Müşteri taleplerindeki dalgalanmaya göre tesisin hangi bölümünde ne kadar malzeme, ekipman, iş gücü vb. ihtiyaçların olduğu Heijunka panolarında gösterilir. Bu sayede işçiler bir sonraki üretim adımında nerede hangi ekipmanla çalışıp hangi parça ailesini ne kadar zamanda üretmesi gerektiğini rahatlıkla kontrol edebilir (İşler ve Güner 2014, 354).

Andon: Üretim hattında bağlandığı makinenin durumunu ışıklı ve sesli bir şekilde gösteren Andon, hatta çalışan işçilerin yardıma ihtiyacı olması veya hattın durdurulması gereken durumlarda üslerine görsel bir şekilde bilgi verir (Everett ve Sohal 1991, 24).

Production Planning and Control (PPC): Üretim Planlama ve Kontrol olarak Türkçeye çevirebileceğimiz bu teknik gelişen teknolojiyle birlikte değişen pazar, üretim, teslimat, müşteri beklentisi gibi konuları ele alarak bu konulara çözüm bulmaya çalışan ve içerisinde birçok farklı üretim tekniği bulunduran bir üretim sistemidir (M. Bonney 2000, 181-184). Genellikle planlanan ve gerçekleşen üretim görevleri, üretim süreleri, yerleri, malzeme, bilgi ve iş akışı, iş gücü gibi aktiviteleri ERP gibi teknolojileri kullanarak görselleştirir.

The Last Planner System (LPS): LPS, yapılan iş sona yaklaştıkça daha detaylı plan yapan, proje tabanlı üretimi iş birliği ile uygulamaya çalışan bir üretim planlama tekniğidir. Üretimde mal sahiplerinden saha mühendisine kadar herkesin bir arada ve sık sık planlama yapmasını, bu planların sürekli kontrol edilmesini hedefler. Bu sayede hata bir kere yapılabilir ancak ikinci kez hata yapılma olasılığı ortadan kaldırılmış olur (Pellicer, ve diğerleri 2015, 4878). Yapılan proje, hedeflenen üretim, günlük, haftalık, 6 haftalık gibi planlamalar görsel yönetimin uygulanmasına yardımcı olur.

A3 Raporu: A3 raporu, görsel yönetimin özeti olarak da tanımlayabileceğimiz bir yalın üretim tekniğidir. A3 raporu ile görsel yönetimin hem ilk hemde ikinci

adımında uygulamalar yapılabilir. Bu teknik ile görsel yönetimin herhangi bir adımında karşılaşılan sorun kağıda yazılır, problem gözlemlenir ve bu problemin temel nedenleri çözümleri ile birlikte A3 raporunda bulunur. Bu sayede problem bütünüyle çözülür ve ileride benzer problemlerle karşılaşılması için bu kağıt gereken yerlere uyarı olarak asılır. Ayrıca problem ve çözüm hakkında bilgi edinmek isteyen bir kişi tek bakışta problemin çıkışından çözümüne kadar her aşamayı rahatlıkla görebilir (Flinchbaugh 2012, 5-7).

One Point Lessons (OPL): Literatür araştırmasında Türkçe çevirisine rastlanmayan bu tekniği Standart Çalışma Planının bir özeti olarak tanımlayabiliriz. Tam manasıyla görsel bir araç olan OPL kağıtları gerek duyulan her yerde kullanılabilir işlevsel tek sayfa kağıtlardır. Problem çözme, bir ekipmanın doğru ve yanlış montajını gösterme, çalışma şeklinin değişmesi gereken bir makine veya aleti yeni çalışma şekli ile birlikte tanımlama, eksik olan bir ürünün oraya tekrar getirilmesini talep etme vb. durumlarda kullanılır. Verilmek istenen bilgi tek kağıt kullanılarak birkaç kelime, bolca resim ve şekil kullanılarak anlatılır. Bu kağıt hazırlandıktan sonra işlem yapılacak yere bırakılır. Bu sayede verilmek istenen fikir direkt olarak belirtilir ve anlaşılması kolay, karışıklığa imkan vermeyen bir iletişim kurulmuş olur. OPL çoğunlukla hatta sorun olan bir yerin düzeltilmesi veya kullanımının değişmesi gereken bir makinenin yeni talimatlarını göstermek gibi işlemler için kullanılır (Attanasio 2018).

Internal Marketing Tools (IMT): Pazarlama kampanyalarında kullanılan görselliğin üretim hattında mesaj iletmek, algıları değiştirmek, yeni uygulamalar hakkında bilgi vermek, moral yükseltmek vb. amaçlar için kullanılması olarak açıklayabileceğimiz bu teknik, görsel araç olarak slogan, maskot, poster vb. araçlar kullanır (Arnett, Laverie ve McLane 2002, 88-90).

Standart Çalışma Planları: Standart çalışma planları bir işin gerçekleştirilmesi için yapılması gereken adımları gösteren panolar ile görsel yönetimin uygulanmasına yardımcı olur. Bu panolarda işin tamamlanması için gerçekleştirilmesi gereken en uygun adımlar yazılı ve sözlü olarak anlatılır. Ayrıca işin hangi seviyede olduğu, devam eden çalışmalar, üretim oranları vb. bilgiler bu panolarda rahatlıkla görülebilir (Feng ve Ballard 2008, 1-5).

Görsel Performans Panoları: Üretime başlamadan önce koyulan hedefler ile üretim hattında gösterilen performans arasındaki ilişki bu panolarda gösterilir. Bu sayede çalışmanın hangi aşamada olduğu, hedef ile performans arasında nasıl bir ilişki olduğu, nerelere takviye yapılması gerektiği, hangi birimin ve işçinin işinde verimli veya verimsiz olduğu gibi bilgiler rahatça görülebilir. Bu panolar ile üretim hattında gösterilen performans ile hedef arasındaki farkın kapanması için sürekli iyileştirme çalışmaları yapılır (Akgül 2018).

5S: 5S teknikleri ile fabrikanın baştan sonra düzenlenmesi bu sayede çalışma alanının görselliğinin artması, personel, ekipman, makine, araçlar, malzemelerin yerlerinin çizilerek belirlenmesi, çalışma alanının 5S düzenlemesi yapıldıktan sonra çalışma güvenliği için bildiriler asılması, rutin makine kontrolleri bilgilendirme talimatları ve temel güvenlik yönergeleri gibi görsel aktiviteler ile görsel yönetimin verimliliğinin artmasına yardımcı olur (Ortiz 2010, 7-11).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM YALIN İNŞAAT

3.1. İnşaat Sektörüne Genel Bakış

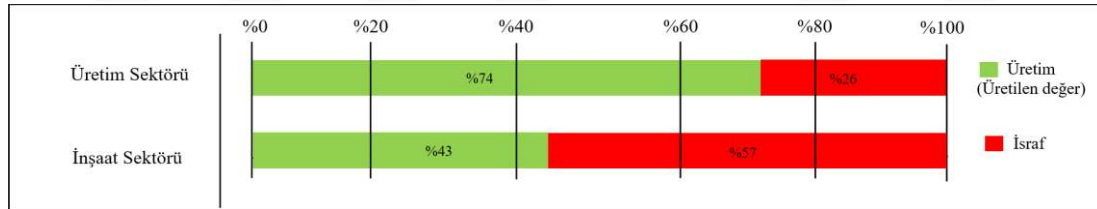
Dünya ekonomisinde önemli bir yere sahip olan inşaat sektörü özellikle gelişmekte olan ülkelerin ekonomileri için lokomotif sektör olarak tanımlanmaktadır (Tokat 2015, 118). İnşaat sektörünün 2016 yılında küresel ekonomiden aldığı pay %10-12 seviyesindedir (Sezgin ve Aşarkaya 2017, 1). 2018 yılında ise bu pay 10 trilyon dolar ile %13 seviyesine çıkmıştır (Ryfan 2018). Türkiye ekonomisinde de inşaat sektörü önemli bir yere sahiptir. T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı'nın Ocak 2020'de yayınladığı rapora göre inşaat sektörünün GSYİH içerisindeki payı 267.099,5 milyon TL'dir. Bu pay, GSYİH içerisindeki toplam payın %7,2'sini oluşturmaktadır. Tüm sektörlerin GSYİH'daki payları incelendiğinde inşaat sektörü en yüksek paya sahip 6. sektördür (T.C Hazine ve Maliye Bakanlığı 2020, 5-6).

İnşaat sektörü, dünya ekonomisine yaptığı katkılarının dışında küresel istihdam oranlarına da büyük katkıda bulunmaktadır. 2018 yılında inşaat sektörü, dünyadaki toplam çalışan nüfusunun %7'sini istihdam etmiştir (Ryfan 2018). Mevsimsel olarak istihdam oranlarının değişkenlik gösterdiği inşaat sektöründe, en yüksek istihdam oranının yaz aylarında olduğu ve 2017 yılının ağustos ayında inşaat sektörünün, Türkiye içerisinde gerçekleştirilen toplam istihdamın %7,9'unu oluşturduğu belirlenmiştir (KPMG 2018, 9). 2014 yılında Fas'ta üretilen katma değer %6,3'ünü oluşturan inşaat sektörü, yine aynı yıl aktif Fas nüfusunun %9,3'ünü istihdam etmiştir (Bajjou, ve diğerleri 2017, 170).

İnşaat sektörü, dünya ekonomisinde istihdam ve ekonomik olarak çok büyük bir öneme sahip olmasının yanında israf ve çevre kirliliğine katkı oranının da çok büyük olduğu bir sektördür. ABD Çevre Koruma Ajansı (2004)'e göre ABD inşaat endüstrisi, toplam enerji kullanımının %39'unu, toplam su tüketiminin %12'sini, toplam elektrik tüketiminin %68'ini ve toplam karbondioksit emisyonunun %38'ini oluşturmaktadır (Allen ve Iano 2008, 4). Yenilenemeyen enerji kaynaklarının en büyük tüketicilerinden olan inşaat sektörü, çevreyi en çok kirleten sektörler arasındadır (Bajjou, ve diğerleri 2017, 170).

Çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin yanı sıra inşaat sektörü, iş güvenliği, çalışan sağlığı ve çalışma koşullarının tehlikesi konusunda da diğer sektörlerle göre daha önemli bir konumdadır. Çalışma koşullarının tehlikeli olması, çalışanların moralini, sağlığını ve verimliliklerini önemli derecede olumsuz etkilemektedir. Çalışanların verimsizlikleri, inşaat sektörünün istihdam ve ekonomik avantajlarını da olumsuz yönde etkilemektedir (Bashir, ve diğerleri 2011, 249).

Geçtiğimiz 30 yıl içerisinde üretim sektöründe performans, verimlilik, güvenlik ve üretkenlik gibi alanlarda önemli iyileştirmeler yapılmıştır (Nikakhtar, ve diğerleri 2015, 462). Yapılan iyileştirmeler ile endüstriyel verimlilik 1964-2004 yılları arasında %100'den fazla artış gösterirken aynı yıllar içerisinde inşaat sektörü %20-30 civarında verim kaybına uğramıştır (Tokat 2015, 38). İçerisinde müşteriye teslim edilecek değeri direkt olarak etkileyecek çok fazla değişken bulunduran ve diğer sektörlerle göre daha fazla israf ortaya çıkartan inşaat sektörünün, üretim sektöründe olduğu gibi süreçlerinin iyileştirilmesi, israflardan arındırılması, verimliliğinin ve üretkenliğinin artırılması gerekmektedir. Şekil 12'de üretim sektörü ile inşaat sektörünün verimlilik ve israf karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 12. Üretim Sektörü ile inşaat sektörünün karşılaştırılması (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 119)

Şekil 12'de de görüldüğü üzere inşaat sektöründeki verim / israf oranı, üretim sektörüne göre çok daha düşüktür. Bu durum önce inşaat şirketlerinde devamında ise ülke ve dünya ekonomilerinde önemli ölçüde kayıplara yol açmaktadır (Tokat 2015, 37). Gelişen teknoloji ile birlikte teknoloji şirketleri, inşaat süreçlerini hızlandırmak, pratikleştirmek ve iyileştirmek için birçok program ve yöntem geliştirmiştir. Ancak asıl önem verilmesi gereken konular; israfların ortadan kaldırılması, süreçlerdeki performans ve verimliliğin en üst düzeye çıkartılması ve yapılan uygulamaların doğru

yalın teknikler ile desteklenerek yalın bir çalışma sisteminin oluşturulmasıdır (Aziz ve Hafez 2013, 681).

İsrafların ortadan kaldırılması ve süreçlerin iyileştirilerek sürekli akışın sağlandığı bir süreç sisteminin oluşturulması Taiichi Ohno'nun öncüsü olduğu yalın üretim ile Womack ve Jones'un öncüsü olduğu yalın düşüncenin entegre bir şekilde inşaat süreçlerine uygulanması ile mümkün olmaktadır (Ansah, Sorooshian ve Mustafa 2016, 1611).

3.2. Yalın Üretim ve Yalın İnşaat arasındaki ilişki

Taiichi Ohno'nun öncüsü olduğu, günümüzde “Yalın Üretim” olarak tanımlanan üretim sistemi, 1973 yılında ortaya çıkan ve başta sanayi sektörü olmak üzere tüm sektörleri olumsuz etkileyen petrol krizinin ardından dikkatleri üzerine çekmiştir (İnce 2018, 33). Ohno'nun geliştirdiği bu sistem ile Toyota fabrikalarında gerçekleştirdiği kazanımlar başta Amerika ve Avrupa'daki otomobil üreticileri olmak üzere diğer sektörlerde bulunan şirketlerin de çalışma şeklini değiştirmesine ilham kaynağı olmuştur (Tokat 2015, 39).

İnşaat sektöründeki azalan verimlilik, performans ve kalite kayıpları, artan maliyet, zayıf güvenlik koşulları, süreçlerin yavaş ve sürekli aksayarak ilerlemesi gibi durumlar sektörün dünya ve ülke ekonomilerine sağladığı katkıyı olumsuz yönde etkilemektedir. İnşaat sektörünün mevcut sorunları araştırmacıların, proje yönetimlerini, tasarım ve mimari süreçlerini, işçi eylemlerini ve şantiye süreçlerini iyileştirmek için çalışmalar yapmasına sebep olmuştur (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 119). Yalın üretim tekniklerinin inşaat süreçlerine uygulanması fikri ilk olarak 1992 yılında Lauri Koskela tarafından önerilmiştir (Koskela 1992, 11).

İlk olarak Japon otomotiv sektöründe geliştirilen yalın üretim felsefesi, israfların ortadan kaldırılması ve verimliliğin artırılması için inşaat süreçlerini tasarlayan yeni bir yöntemi olarak inşaat süreçlerine entegre edilmiştir. Bu entegre uygulama günümüzde de uygulanmaya devam edilmektedir.

3.3. Yalın İnşaat

Lauri Koskela'nın ilk olarak 1992 yılında yalın üretim tekniklerini inşaat süreçlerine uyguladığı çalışmanın ardından, 1993 yılında Uluslararası Yalın İnşaat Grubu (IGLC) minimum maliyet ile maksimum değer elde etmek amacıyla malzeme, zaman ve iş gücündeki israfları en aza indirmek için inşaat yönetimi ve faaliyetlerinin tasarlanmasına dair bir yaklaşımı tanımlamak için ilk kez “Yalın İnşaat” terimini kullanmıştır (Babalola, Ibem ve Ezema 2019, 34).

Yalın inşaat, literatürde birçok araştırmacı tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Ayrıca yöntem, araştırmacılar tarafından akademik olarak geliştirilmeye devam edilmektedir. Bashir, Suresh, Proverbs vd. (2011)'e göre yalın inşaat, müşteri için mümkün olan maksimum değeri üretmek için malzeme, zaman ve çaba israfını en aza indirecek üretim sistemleri tasarlamamanın bir yoludur (Bashir, ve diğerleri 2011, 250). Dupin (2014)'e göre yalın inşaat kavramı, sürekli iyileştirmeye yönelik sistematik ve titiz bir yaklaşımın parçası olarak, iş birliğine dayalı proje yönetimi araçlarıyla desteklenen, israfı ortadan kaldırarak müşteri için maksimum değerler yaratmayı amaçlayan bir felsefedir (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 180).

Özet olarak, yapı inşası süreçlerini israfların belirlenerek ortadan kaldırılacağı, süreçlerdeki performans ve verimliliğin artırılacağı ve minimum kaynak kullanımı ile maksimum değer üretileceği şekilde yalın tekniklerle organize etme uygulamasına “Yalın İnşaat” adı verilir.

Yalın inşaat, yalın üretim felsefesi ve tekniklerinin inşaat süreçlerine uygulanması ile oluşan bir sistem olduğu için diğer sektörlerde uygulanan tüm yalın uygulamalarda olduğu gibi başına “Yalın” kelimesini almıştır (Tokat 2015, 40).

Yalın inşaat, müşterilerin gereksinimlerini karşılamada israfları azaltmayı, üretkenliği, sağlığı ve güvenliğini artırmayı amaçlamaktadır. “Yalın” terimi temelde yapılan işi anlamak, gerçekleştirmek ve yönetmek açısından kolay hale getirmek anlamına gelir. Bu kavramın altında yatan ana fikir, müşteriye değer katan faaliyetlere odaklanmak ve süreçlerdeki israfı azaltmaktır. Ayrıca kavram, müşterilerin

ihtiyaçlarını karşılamak için inşaat projelerini ve teslimat sistemlerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Ansah, Sorooshian ve Mustafa 2016, 1609).

Bir inşaat sisteminin yalınlaşması veya yalın bir inşaat sisteminin kurulması diğerk tüm sektörlerde olduğu gibi israfların belirlenmesi ile başlar. İraflar belirlenirken Ohno'nun Toyota retim Sistemi (TS) içerisinde bahsettiği 7 temel israf tanımı kullanılır (Aziz ve Hafez 2013, 683). Bu israflar: Aşırı retim, bekleme, taşıma, envanter, yanlış işlem, hareket ve hatalı üretim israflarıdır (Ohno 1988, 19). Ayrıca inşaat sektöründe iş kazaları da büyük israflara sebep olan bir konu olduğu için literatürdeki bazı çalışmalarda iş kazaları 8. israf olarak önerilmiştir. Bu tezde de iş kazaları 8. israf olarak tanımlanmıştır.

İrafların belirlenmesinden sonra Womack ve Jones (2003)'un belirlediği 5 yalın düşünce ilkesi inşaat sistemine uygulanır (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 180). Bu ilkeler: Değer, değer akışı, sürekli akış, çekme ve mkemmeliktir (Womack ve Jones 2003, 1).

İrafların belirlenmesi ve yalın düşüncenin uygulanmasının ardından oluşturulan yalın inşaat sisteminin, doğru yalın teknikler uygulanarak israflardan arındırılması ve standartlaştırılması amaçlanır. Uygulanacak yalın tekniklerin belirlenmesinde sistemin ihtiyaçları ve şartları doğrultusunda genellikle öznel yöntemler tercih edilir. Teorik olarak başarılı olacağı düşünülen yalın teknikler deneme yanılma yoluyla test edilerek sisteme entegre edilir (Shakeri, Boroujeni ve Hassani 2015, 130). Literatürde, birbirinden farklı yalın tekniklerin inşaat süreçlerine uygulanması ile yalın inşaat uygulamaları yapılmıştır. Ayrıca zaman içerisinde yalın üretim tekniklerinden farklı olarak sadece yalın inşaat kavramı altında kullanılması amaçlanan farklı teknikler de geliştirilmiştir.

Lauri Koskela 1992 yılında yaptığı çalışmada inşaat endüstrisi ile yalın üretim tekniklerinin adaptasyonunu incelemiş ve retimn  tamamlayıcı şekilde kavramsallaştırıldığı TFV (Transformation, Flow, Value – Dönüşüm, Akış, Değer) adı verilen üretim yönetimi paradigmasını sunmuştur (Koskela 2000, 89). Al-Aomar, 2012 yılında Abu Dhabi inşaat sektöründe yaptığı yalın inşaat uygulamasında Yalın İnşaat Enstitüsünün geliştirdiği LPDS (Lean Project Delivery System – Yalın Proje

Teslim Sistemi) sistemine ek olarak MPS (Master Planning Schedule – Ana Üretim Planı), yalın lojistik, detaylandırılmış mühendislik ve alt yüklenicileri ekleyerek yalın inşaat uygulama modeli oluşturmuştur (Al-Aomar 2012, 107). Bashir vd. (2011)’de yaptığı çalışmada, şantiyelerdeki iş kazalarının azaltılmasında yalın üretim ve yalın inşaat tekniklerinin etkisini incelemiş, problemin çözümü için LPS (Last Planner System – Son Planlayıcı Sistemi), Poka-Yoke ve 5S tekniklerini kullanmıştır (Bashir, ve diğerleri 2011, 254). Ayrıca Glen Ballard tarafından 2000 yılında önerilen ve Yalın İnşaat Enstitüsü tarafından patenti alınan LPS yalın inşaat kavramı altında kullanılması amaçlanarak geliştirilmiş bir yalın inşaat tekniğidir (Ballard 2000, 50).

Bu bilgilere dayanarak, yalın inşaat sisteminin iyileştirilmesinde kullanılacak yalın tekniklerin seçiminde, yalın üretim felsefesinden farksız olarak belirli kurallara bağlı olmadan sistemin imkanları ve ihtiyaçları doğrultusunda iyileştirme planına uygun tüm yalın tekniklerin seçilerek inşaat süreçlerine uygulanabileceği söylenebilir.

3.4. İnşaat Süreçlerindeki İsrafların Belirlenmesi

Yalın üretim felsefesine göre üretim süreçleri, ürüne değer katan ve ürüne değer katmayan süreçler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu felsefeye göre ürüne değer katan aktiviteler müşterilerin parasını ödemeye hazır olduğu aktivitelerdir. Kaynak tüketen ve ürüne değer katmayan aktiviteler ise “israf” olarak tanımlanmıştır (Aziz ve Hafez 2013, 683). “Yalın” olmanın temel amacı israfları en aza indirmeye çalışarak sürekli akışı sürdürmektir. Diğer yalın sektörlerde olduğu gibi yalın inşaat da ilk amaç üretim süreçlerindeki israfları en aza indirmektir (Enshassi ve Zaiter 2014, 1206).

Özellikle geleneksel çalışma planları ile üretim yapan inşaat şirketlerinde düşük performans, yüksek maliyet, düşük verimlilik, zayıf güvenlik koşulları ve yüksek çevre kirliliği gibi israflar üretilen değer kalitesini düşürerek maliyeti arttırmaktadır. Bu durum başta inşaat şirketleri olmak üzere ülkesel inşaat sektörleri ve dünya ekonomisine zarar vermektedir (Nahmens ve Ikuma 2012, 155). Ayrıca bu israflar çevre kirliliği, sağlık sorunları, kalitesiz yapılar gibi çalışan ve müşteri

sağlığını olumsuz yönde etkileyecek durumlara da yol açmaktadır (Bashir, ve diğerleri 2011, 249).

Geleneksel inşaat sistemleri sadece katma değer katan faaliyetleri iyileştirmeye odaklanmış, israfları arka plana atmıştır. Ancak yalın inşaat sistemi, inşaat süreçlerindeki israfların ortadan kaldırılarak yalın dönüşüm faaliyetleri ile birlikte sürekli akışın sağlanacağı bir şekilde prosesi düzenlemeye çalışmaktadır (M. S. Bajjou, ve diğerleri 2017, 172).

Yalın inşaat uygulamalarının başlamasının ardından araştırmacılar, inşaat süreçlerini iyileştirebilmek için araştırmalarını inşaatlarda oluşan israflara ve bu israfların verdiği zararlara yönlendirmiştir. Literatürdeki bazı çalışmalar ve bulguları aşağıdaki gibidir:

- İngiltere inşaat sektöründe yapılan bir çalışma, inşaat süreçlerinde %30'a kadar yeniden üretme olduğunu, potansiyel iş gücü verimliliğinin yalnızca %40-60 aralığında kullanıldığını, iş kazalarının toplam maliyetin %3-6'sını oluşturduğunu ve kullanılan malzemelerin %10'unun boşa gittiğini göstermiştir (Aziz ve Hafez 2013, 682).
- Avusturalya inşaat sektöründe yapılan bir çalışma ise yeniden üretme israflarının toplam proje maliyetinin %35'ini oluşturduğunu ve projenin bütçe aşımı maliyetinin %50'sine katkıda bulunduğunu belirlemiştir (Love, Irani ve Edwards 2003, 13).
- Dupin (2014)'e göre inşaat süreçlerinde katma değer katan süreçler toplam inşaat sürecinin %32'sini oluşturmaktadır. Kalan süreç yani toplam çalışma süresinin %68'i ise israflardan oluşmaktadır. Bu israflar; %29 bekleme, %13 yer değiştirme, %8 talimatlar, %7 ekipman ve materyal taşıma, %6 işe geç başlama ve işten erken ayrılma, %5 ise çalışanların verdiği gereksiz aralar şeklindedir (M. S. Bajjou, ve diğerleri 2017, 172).

Inşaat süreçlerinde de diğer sektörlerde olduğu gibi birbirine bağlı ve birbirinden bağımsız birçok israf türü bulunmaktadır (Tokat 2015, 52). İsrarlar belirlenirken, Ohno'nun yalın üretim sisteminde belirlediği 7 israf çeşidi temel alınmış

olsa da literatür incelendiğinde inşaat sistemleri imkanlar, bulundukları coğrafya, büyüklük ve inşa ettiği yapıların türü gibi nedenlerden dolayı farklı israf türleri oluşturmuştur. Literatürdeki bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir:

- Al-Aomar'ın 2012 yılında Abu Dhabi inşaat sektöründe yaptığı yalın inşaat uygulamasında karşılaştığı israflar Tablo 1'de gösterilmiştir (Al-Aomar 2012, 110), (Tokat 2015, 79).

Tablo 1. Abu Dhabi inşaat sektöründe yer alan israflar (Al-Aomar 2012, 110), (Tokat 2015, 79)

Hatalar	Fazla İşlem	Gecikme	Depolama	Nakliyat	Fazla Üretim	Yer Değişikliği
İş tamiri	Uzun onay süreci	Geç iş teslimi	Hasarlı malzeme	Taşıma süresi	Bekleme periyodları	İşçi hareketleri/ yer değiştirme
Ekipman bozulması	Netleştirme ihtiyacı	Aktivite başlan-gıç gecikmeleri	Aşırı malzeme	Malzeme taşıma	Aşırı geniş alan	
İş hataları	Aşırı güvenlik	İş kesintileri	Çalınma			
Tekrar iş yapma	Aşırı eğitim süresi	Verimsiz iş				
Tasarım hataları	Aşırı yönetim					
Uygulama hataları	Aşırı ekipman kullanımı					
Tekrar test işi	Aşırı nitelikli kaynaklar					
Tamamlan-mamış iş						

- Polat ve Ballard'ın 2004 yılında, Türkiye'deki inşaat sektörü içerisinde yaptığı araştırmalar sonucunda karşılaştıkları israflar ve sıklık oranları Tablo 2'de gösterilmiştir (Polat ve Ballard 2004, 8).

Tablo 2. Türkiye’deki inşaat süreçlerinde karşılaşılan israflar ve sıklık oranları
(Polat ve Ballard 2004, 8)

Kaynak	Malzeme İsrafının Nedenleri	Sıklık (%)
Tasarım	Tasarım dosyalarında malzeme çeşidi ve boyutu hakkında bilgi eksikliği	13
	Tasarımda değişiklik yapılması ve revizyonlar	12
	Tasarım dosyalarında malzeme çeşidi ve boyutu hakkında yanlış bilgi verilmesi	10
	Malzeme çeşitlerinin ve boyutlarının israf göz önünde bulundurulmadan belirlenmiş olması	3
Tedarik	Tasarım dosyalarında belirtilen proje gereksinimlerini karşılamayan malzemelerin sipariş edilmesi	86
	Metraj hataları sebebiyle malzemelerin fazla veya az sipariş edilmesi	8
	Yapım personeli ve depo arasındaki koordinasyon eksikliği sebebiyle malzemelerin fazla veya az sipariş edilmesi	4
Malzeme Taşıma	Kusurlu stoklama ve taşıma sebebiyle malzemelerin hasar görmesi	16
Uygulama	Hatalı yapım planlaması	61
	İşçi hataları	32
	Sonradan ortaya çıkan işlerin sebep olduğu hasar	3
Artık	Ekonomik olmayan ölçülere göre kesim yapılmasından kaynaklanan dönüştürme israfı	22
Diğer	Şantiyedeki malzemelerinin kontrolünün eksikliği	23
	İsraf yönetim planının eksikliği	10

- Lauri Koskela 1992 yılında, farklı ülkelerdeki inşaat sektörlerini incelemiş ve inşaatlarda oluşan en önemli israfları, kayıpları ile beraber Tablo 3’deki gibi belirlemiştir (Alarcon 1997, 6).

Tablo 3. İnşaatlarda oluşan israflar (Alarcon 1997, 6)

İsraflar	Maliyet	Ülkeler
Üründe oluşan kalite kayıpları	Toplam proje maliyetinin %12’si	Amerika
Çalışma alanındaki kalite kayıpları	Toplam proje maliyetinin %4’ü	İsveç
Zayıf inşa edilebilirlik	Toplam proje maliyetinin %6-10’u	Amerika
Zayıf malzeme yönetimi	İşçilik maliyetinin %12’si	Amerika
Şantiyedeki aşırı malzeme tüketimi	Ortalama %10	İsveç
Mesai saatleri içerisinde yapılan ürüne değer katmayan hareketler	Mesai saatlerinin 2/3’ü	Amerika
Zayıf güvenlik önlemleri	Toplam proje maliyetinin %6’sı	Amerika

Bu bilgilere göre inşaat sektörlerindeki israflar, coğrafi şartlar, iş gücü, ekonomi vb. nedenlerden dolayı farklılık gösterebilmektedir. Bu tezde, inşaat süreçlerinde oluşan israfların belirlenmesi için Ohno'nun yalın üretim sistemi içerisinde belirlediği 7 temel israf türüne ek olarak iş kazaları 8. israf türü olarak işlenmiştir. Çalışmada kullanılan israf türleri ve bu türlerin içerisinde bulunan israflar, yapılan ÇKKV uygulaması kapsamında inşaat sektöründe önemli tecrübelerle sahip uzmanlara danışılarak belirlenmiştir. Belirlenen israflar ayrıntılı bir biçimde beşinci bölüm olan uygulama bölümünde ele alınmıştır.

3.5. Yalın Düşünce İlkelerinin İnşaat Süreçlerine Uygulanması

Yalınlaşma sürecinde olan bir sistemde, israfların belirlenmesinin ardından standartlaştırılmış ve israflardan arındırılmış bir sistem oluşturulabilmesi için çalışma planlamasının yalın düşünce felsefesi ile birlikte yapılması gerekmektedir (Haque ve Mike 2004, 1). Womack ve Jones (1996)'a göre yalın düşüncenin bir sisteme uygulanması ve sistemde maksimum verimlilik ile çalışması için uygulanması gereken 5 temel ilke bulunmaktadır. Bu ilkeler aşağıdaki gibidir (Womack ve Jones 2003, 1):

- Değer
- Değer Akışı
- Sürekli Akış
- Çekme Sistemi
- Mükemmellik

Diğer sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de yalınlaşma amacıyla olan inşaat sistemlerinin yalın düşünce felsefesini tüm çalışma süreçlerine uygulaması gerekmektedir (Anvari, ve diğerleri 2011, 1589). Koskela, yalın inşaat uygulamaları kapsamında uygulanması gereken yalın düşünce prensiplerini 11 ilke ile tanımlamıştır (Aziz ve Hafez 2013, 684). Bu ilkeler aşağıdaki gibidir (Koskela 1992, 17-23):

- 1. Değer katmayan aktivitelerin (israf) azaltılması:** Koskela (1992)'a göre üretime değer katmayan aktivitelerin üç ana sebebi vardır. Bu sebepler aşağıdaki gibidir (Koskela 1992, 17):

- Hiyerarşi
- Bilgisizlik
- İnşaat sisteminin doğası

Hiyerarşi sistemi uygulayan geleneksel inşaat sistemlerinde, sistemin çalışma şekline dolaylı süreçler içerisinde birçok katma değer katmayan faaliyetler bulunur. Yapılan herhangi bir iş, hiyerarşide yukarıdan aşağıya doğru indikçe farklı kademelerden ve süreçlerden geçmektedir. Bir işin farklı kademelerden geçmesi teftiş, taşıma ve bekleme gibi katma değer katmayan faaliyetleri oluşturur (Koskela 1992, 17).

Bilgisizlik değer katmayan bir başka durumdur. Özellikle inşaatın idari alanında pek çok süreç düzenli bir şekilde hazırlanmaz. Bunun yerine süreçler geçici olarak içerisinde bulunulan duruma yönelik hazırlanır. Değer katmayan bu faaliyetler fark edilemediği için bu durumu engellemeye yönelik bir çalışma yapılmamaktadır (Koskela 1992, 17).

İnşaat süreçlerinin doğası gereği içerisinde müşterinin ödeme yapmadığı, ürüne değer katmayan ancak süreçlerin işlemesi için gerekli uygulamalar bulunur. Örneğin; Muhasebe, işçilerin sigortalarının ödenmesi, iş kazası önleme araçları vb. durumlar doğru analiz edilmeli ve israf oluşturanlar belirlenerek ortadan kaldırılmalıdır. Ancak süreçlerin işlemesine yardımcı olan adımlar sistemden çıkartılmamalıdır (Tokat 2015, 13).

- 2. Müşteri gereksinimlerini sistematik olarak dikkate alarak üretilen değer artırılması:** Geleneksel inşaat sistemlerinde genellikle müşterilerin ihtiyaçları ve talepleri belirlenmeden sadece süreçlerdeki maliyetlerin azaltılmasına odaklanılmıştır. Ancak inşaat süreçlerinde 2 tip müşteri vardır; Sonraki süreç ve ana müşteri. Bu nedenden dolayı müşterilerin talepleri belirlenmeli ve planlamalar bu doğrultuda yapılmalıdır (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 119).
- 3. Değişkenliğin azaltılması:** İşlemlerdeki değişkenliğin azaltılmasının 2 temel sebebi vardır. Bu sebepler aşağıdaki gibidir (Koskela 1992, 18):

- Farklı bir müşteri talebi olmadığında müşteri memnuniyeti için tek tip ürün üretmek daha iyidir. Bendell vd. (1989)'e göre üretilen değerdeki herhangi bir sapma müşteri memnuniyetinde kayıplara yol açacaktır (Koskela 1992, 18).
- Değişkenlik, aktivite süresini arttıracak için döngü süresinin de artmasına sebep olacaktır.

4. Döngü sürelerinin azaltılması: Üretimdeki döngü süresini azaltmak aşağıdaki faydaları sağlayacaktır (Schmenner 1988, 6):

- Taleplerin müşterilere daha hızlı teslim edilmesi,
- Gelecek talepleri tahmin etme ihtiyacının azalması,
- Farklı siparişlerin üretim sürecini aksatmaması,
- Siparişlerin azalması ve daha iyi kontrol edilmesi.

5. Süreçlerin, malzemelerin ve karışıklıkların en aza indirilmesi: İnşaat süreçlerinin mümkün olduğunca azaltılması, fazlalık süreçlerde oluşan maliyetleri ortadan kaldırırken, bu süreçlerde kullanılan iş gücünün başka süreçlerde kullanılabilmesini sağlar. Ayrıca süreç sayısının azaltılması, tüm sistemdeki süreç karışıklığının azaltılmasına ve daha yalın bir inşaat sistemi kurulmasına yardımcı olur. Aşağıdaki yöntemlerle inşaat süreçleri kısaltılabilir ve karmaşıklıklar azaltılabilir (Koskela 1992, 21):

- Faaliyetleri düzenleyerek akışları kısaltmak.
- Tasarım değişiklikleri veya prefabrik parçalar yoluyla ürünlerin parça sayısını azaltmak.
- Parçaları, araçları ve malzemeleri standartlaştırmak.
- Süreç kontrollerini en aza indirmek.

6. Esnekliğin artırılması: İnşaat süreçlerindeki esnekliği arttırmak için aşağıdaki yaklaşımlar uygulanabilir (Chen, Reichard ve Beliveau 2007, 63):

- Lot boyutlarının talebi karşılayacak şekilde en aza indirilmesi,
- Makine kurulumlarının ve prosesler arası geçişlerin zorluğunu azaltmak,
- Özelleştirme adımlarını mümkün olduğunca geç yapmak,

- Çok fonksiyonlu işçiler yetiştirmek.

7. Süreçlerin şeffaflığının artırılması: Süreçlerin şeffaf olmaması hata yapma ve israf oluşturma ihtimalini artırır. Ayrıca hataların görünürlüğünü azaltır ve hatalar için yapılması gereken iyileştirmeleri zorlaştırır. Süreçlerin kontrol ve iyileştirmelerinin kolaylaştırılabilmesi için inşaat sisteminin tüm akışı, çalışanların anlayabileceği şekilde şeffaf bir hale getirilmelidir (Sacks, Treckmann ve Rozenfeld 2009, 1309).

8. Bitmiş süreçlerin kontrol edilmesi: Bitirilen işin, hiyerarşi içerisine girmeden direkt olarak uygulandığı yerde kontrol edilmesi inşaat süreçlerinin hızlanmasını ve gereksiz hiyerarşik süreçlerin beklenmemesini sağlayacaktır.

9. Süreçlerde sürekli iyileştirmenin oluşturulması: Nihai ürünlerdeki değeri artırma ve süreçlerdeki israfları azaltma çabası, sistem çalışmaya devam ettikçe gerçekleştirilmesi gereken bir uygulamadır. Bu sayede, sistemdeki israflar sürekli bulunarak ortadan kaldırılabilir ve sistem, iyileştirilerek geliştirilmeye devam edilebilir (Oliveira, Sa ve Fernandes 2017, 1083).

10. Akış sistemi ile dönüşüm sisteminin dengelenmesi: İnşaat süreçleri için akış ve dönüşüm uygulamaları farklı iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bir yapının farklı bir amaçta kullanılmak için dönüştürülmesi akışın hızlı sağlandığı bir sistemde daha kolay ve verimli olacaktır. Akışın artırılması dönüşüm ihtiyacını azaltacak bu sayede daha az ekipman kullanılacaktır (Koskela 1992, 23).

11. Kıyaslama: Oluşturulan yeni inşaat sistemini diğer inşaat sistemleri ile kıyaslayarak, mevcut sistemin diğer sistemlere göre olumlu ve olumsuz yönlerinin ortaya çıkartılması sağlanmalıdır. Bu sayede ilerleyen süreçlerde yapılması gereken iyileştirme ve geliştirmeleri belirlemek daha kolay olacaktır.

3.6. Yalın İnşaat Teknikleri

Yalın üretim teknikleri, yalın düşünce prensiplerinin üretim hattında uygulanmasını sağlayarak, yalınlaşan sistemdeki israfların ortadan kaldırılmasına yardımcı olmak için geliştirilen tekniklerdir. Geliştirilen bu tekniklerin amacı, sistemdeki israfları ortadan kaldırarak performans ve verimliliğin arttırılabileceği, minimum maliyet ile maksimum değerin üretilebileceği mükemmele yakın bir akış sistemi oluşturmayı sağlamaktır (Pavnaskar, Gershenson ve Jambekar 2003, 3076). Ohno'nun Toyota Üretim Sistemi'ni ilk kez uygulamasından başlayarak günümüze kadar, yalınlaşma çabasında olan sistemlerin ihtiyaçları doğrultusunda uygulanabilecek birçok yalın üretim tekniği geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam edilmektedir (Herron ve Hicks 2008, 524-525).

İnşaat sektöründeki israfların belirlenebilmesi ve ortadan kaldırılabilmesi için yalın olan her sektörde olduğu gibi yalın teknikler kullanılmaktadır. İnşaat süreçlerine uygulanacak tekniklerin seçilmesinde belirli zorunluluklar bulunmamaktadır. Yalın üretim prensiplerini inşaat süreçlerine uygulayabilecek ve israfları ortadan kaldıracak her teknik, yapılan uygulama kapsamında yalın inşaat tekniği olarak da tanımlanmaktadır (R. H. Ansah, S. Sorooshian, ve diğerleri 2016, 790).

Literatür incelendiğinde inşaat süreçlerine uygulanacak yalın teknikler, sistemin bulunduğu yerin coğrafi koşulları, ihtiyaçları, israf çeşitliliği, şantiye büyüklüğü, ekonomik imkanları, iş gücü verimliliği, güvenlik önlemleri gibi birçok neden göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. İnşaat süreçlerine yalın üretim teknikleri uygulayan çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Bashir vd. 2011'de yaptığı çalışmada şantiyelerdeki iş kazalarının azaltılması için yalın tekniklerin etkisini teorik bir şekilde araştırmıştır. Çalışmada Son Planlayıcı Sistemi (LPS), 5S ve Poka-Yoke teknikleri incelenerek önerilmiştir (Bashir, ve diğerleri 2011, 254).

Bajjou, Chafi ve Hammoumi 2017'de yaptığı bir literatür çalışmasında yalın inşaat teknikleri ile inşaatta sürdürülebilir gelişim arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu çalışmada LPS, Görsel Yönetim, 5S, Değer Akışı Haritalama, TZÜ ve Poka-Yoke

tekniklerinin inşaatteki sürdürülebilir gelişimin ana faktörlerini doğrudan geliştirdiği belirlenmiştir (M. S. Bajjou, ve diğerleri 2017, 176).

Al-Aomar 2012 yılında Abu Dhabi inşaat sektöründe uyguladığı yalın inşaat çalışmasında inşaat süreçlerine 27 farklı yalın teknik uygulamış ve bu tekniklerin kazanımlarını incelemiştir. Ayrıca Al-Aomar, bu çalışmasında yalın tekniklerin inşaat sektörüne uygulanmasında karşılaştığı engellerden de bahsetmiştir (Al-Aomar 2012, 115-116).

Polat ve Ballard 2004 yılında Türkiye inşaat sektöründeki israfları belirleyen bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Türkiye’de uygulanan inşaat süreçleri incelenmiş ve israfların giderilmesi için 27 teknik önerilmiştir. Önerilen tekniklerin 8 tanesi yalın üretim tekniğidir (Polat ve Ballard 2004, 11).

Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017 yılında yalın inşaat ve geleneksel inşaat sistemlerini karşılaştırmıştır. Bu çalışmada Kanban, PPC, 5S ve Görsel Yönetim teknikleri incelenmiştir (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 125-127).

Ansah vd. 2016 yılında Malezya inşaat endüstrisine yalın inşaat tekniklerini uygulayabilmek için 40 literatür çalışmasını incelemiştir. Bu çalışmada, uzman görüşlerine göre 30 yalın teknik, Malezya inşaat endüstrisine uygulanabilir olarak belirlenmiştir. Bu teknikler Tablo 4’deki gibidir (R. H. Ansah, S. Sorooshian, ve diğerleri 2016, 790).

Tablo 4. Malezya inşaat endüstrisi için uygulanabilecek yalın teknikler (R. H. Ansah, S. Sorooshian, ve diğerleri 2016, 790)

1. Son Planlayıcı Sistemi (LPS)	2. Eş Zamanlı Mühendislik	3. Günlük Grup Toplantıları	4. 5S	5. İlk Uygulama Çalışmaları
6. Görsel Yönetim	7. Kalite İçin Hata Önleme	8. İnşaat Süreçleri Analizi	9. Kanban	10. Tam Zamanında Üretim
11. İş Standartlaştırma	12. Değer Akış Haritalaması	13. İstatistiksel Süreç Kontrolü	14. İş Yapılandırması	15. Pareto Analizleri
16. Poka-Yoke	17. Sürekli Akış	18. Altı Sigma	19. Hata Modu ve Etkileri Analizi	20. Darboğaz Analizleri
21. Kaizen	22. PUKÖ	23. 5 Neden	24. Gemba Walk	25. Sorun Kaynağı Çözümlemesi
26. Kontrol Sayfaları	27. Hat Dengeleme	28. Jidoka	29. FIFO hattı	30. Takım Çalışması

Bu çalışmada uygulanan ÇKKV modeli kapsamında, israfların ortadan kaldırılması ve sistemde sürekli akışın oluşturulması amacı ile kullanılacak 5 yalın teknik, uzman görüşleri ile belirlenmiştir. Belirlenen bu teknikler, beşinci bölüm olan uygulama bölümünde detaylı bir şekilde tanımlanmıştır.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM METODOLOJİ

Yalın bir sistem kurma hedefi olan veya sonradan yalınlaşmaya çalışan işletmeler için israfların doğru belirlenmesi ve ortadan kaldırılması, uygulanması gereken en önemli unsurlardandır. İnşaat sektörü, bünyesinde çok fazla israf barındıran ve ilerleyen süreçlerde daha yüksek maliyetlere sebep olacak israflar ortaya çıkartma potansiyeli olan bir sektördür. İnşaat süreçlerindeki israflar, başta inşaat şirketleri olmak üzere zincirleme bir şekilde dünya ekonomisine kadar her adımda büyük zararlar vermektedir. Bu nedenden dolayı israfların en çok zarar verenlerinden başlayarak doğru bir şekilde belirlenmesi ve doğru yalın tekniklerle ortadan kaldırılarak yalın bir inşaat sistemi oluşturulması gerekmektedir.

Bu tezde, inşaat sektörüne en çok zarar veren israfların ve bu israfları ortadan kaldıracak doğru yalın tekniklerin belirlenmesi problemi ele alınmış, ÇKKV teknikleri yardımı ile model ve çözüm önerisi geliştirilmiştir. Problemin çözümünde SWARA ve Bulanık VIKOR teknikleri kullanılmıştır.

Önerilen çözüm yaklaşımında SWARA ve Bulanık VIKOR yöntemleri entegre bir şekilde kullanılmıştır. Bu entegre metodolojide, çözümün ilk aşamasında SWARA tekniği, israfların önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmış, bu önem ağırlıklarının belirlenmesinden sonra ise Bulanık VIKOR yöntemi ile en uygun yalın teknik alternatifi seçilmiştir.

SWARA ve Bulanık VIKOR tekniklerinin uygulama adımları ve bu tekniklerle ilgili bilgiler çalışmanın 4.1. ve 4.2. bölümlerinde detaylı bir şekilde işlenmiştir.

4.1. SWARA Yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis - Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) yöntemi, ÇKKV uygulamalarında kullanılan, uzman görüşü odaklı bir kriter ağırlıklandırma yöntemidir (Adalı ve Işık 2017, 63). Yöntem,

2010 yılında Keršulienė, Zavadskas ve Turskis tarafından ortaya çıkarılmıştır (Keršulienė, Zavadskas ve Turskis 2010, 247).

SWARA yönteminde uzman görüşleri, kriter ağırlıklarının hesaplanması ve alternatiflerin değerlendirilmesinde önemli bir role sahiptir. Bu nedenden dolayı yöntem öznel değerlendirmeler gerektiren uygulamalarda sıkça tercih edilir (Çakır 2018, 1912). Uzmanlar kendi bilgi ve deneyimlerini kullanarak kriterleri önem sırasına göre, en önemli kriter 1. sırada, en önemsiz kriter ise sonuncu sırada olacak şekilde sıralar ve devamında kriterlerin ağırlıklarını belirler. Her uzmanın bireysel veya ortak olarak oluşturduğu kriter sırasına göre kriter ağırlıklarının doğru belirlenmesi SWARA yönteminin ana unsurudur (Zolfani ve Saparauskas 2013, 410).

SWARA yönteminin adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: ÇKKV yöntemi ile çözülmesi hedeflenen probleme ilişkin kriterler ve seçim sürecine katılacak karar vericiler komitesi belirlenir. Problemdeki n kriter sayısını, $K_j (j=1, \dots, n)$ ise kriter kümesini temsil eder. Karar verici kümesi k ile temsil edilirken, karar verici sayısı l harfi ile gösterilir ($k=1, \dots, l$).

Adım 2: Her bir karar verici tüm kriterleri bireysel önem sırasına göre sıralar. Devamında her karar verici, bireysel sıralamasındaki en önemli olan kritere 1.00 puanını verir ve sıralanan diğer kriterleri en önemli kritere göre puanlar. Kriterlere verilen puanlar p_j^k şeklinde ifade edilir. $p_j^k; j=1, \dots, n; k=1, \dots, l$ ve $0 \leq p_j^k \leq 1$ dir.

Bu adım diğer kriterler için en önemli kritere göre yüzdelik önem belirleme adımı olarak görülebilir. Başka bir anlatışla, kriterler içerisinde en önemli kriterin 1 değerini alması o kriterin %100 yani en önemli kriter olduğunu gösterir. Devamında sıralanan diğer kriterler ise %100 önemli olan kritere göre yüzdelik bir önem değeri alırlar.

Adım 3: Yapılan puanlama adımından sonra karar vericilerin, her kriter için verdiği puanların göreceli ortalama önem puanı (p_j) hesaplanır. Denklem (1)'deki işlemin sonucunda her kriter 0.00 ile 1.00 arasında göreceli ortalama önem puanına sahip olur ve kriterler bu puana göre en büyükten en küçüğe doğru sıralanır.

$$P_j = \frac{\sum_{k=1}^l p_j^k}{l} \quad (1)$$

Adım 4: Karar vericiler en büyükten en küçüğe doğru sıraladıkları kriterleri, ikinci kriterden başlayacak şekilde her bir kriter için ortalama değerin karşılaştırmalı önemi (s_j) değerini belirler. S_j değeri j kriteri ile kendisinden bir önceki kriter olan $j-1$ kriterinin karşılaştırılması ile elde edilir.

Adım 5: Her bir kriter için katsayı (k_j) değeri Denklem (2) kullanılarak hesaplanır. En büyük s_j değerine sahip kriterin katsayı (k_j) değeri 1'dir.

$$K_j = s_j + 1; k_j = 1 \text{ ve } j = 1, \dots, n \quad (2)$$

Adım 6: Her bir kriter için düzeltilmiş ağırlık değeri (S'_j) şeklinde gösterilir. S'_j değeri tüm kriterler için Denklem (3) kullanılarak hesaplanır ve en yüksek kriterin düzeltilmiş ağırlık (S'_j) değeri 1'dir.

$$S'_j = \frac{s'_{j-1}}{k_j}, S_{j-1} > S_j \quad (3)$$

Adım 7: Her bir kriter için son önem ağırlık değeri (w_j) değeri Denklem (4) kullanılarak hesaplanır.

$$W_j = \frac{s'_j}{\sum_{j=1}^n s'_j} \quad (4)$$

4.2. Bulanık Küme Teorisi

1965 yılında Azeri akademisyen Lutfi Aliasker Zadeh tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi, problemleri klasik mantıkta bulunan evet-hayır, güzel-çirkin, sıcak-soğuk, uzun-kısa, yakın-uzak gibi 1 ve 0'ı temsil eden ve kesin sınırları bulunan kümelerin dışında, bu problemleri kesin sınırlar olmadan (biraz sıcak, orta kısa, çok uzak vb.) değerlendirebilmeyi ve sınıflandırmayı sağlar (Yavuz ve Deveci 2014, 464). ÇKKV problemlerinin çözümünde karar vericiler için $\{0,1\}$ değerindeki cevaplar bazı

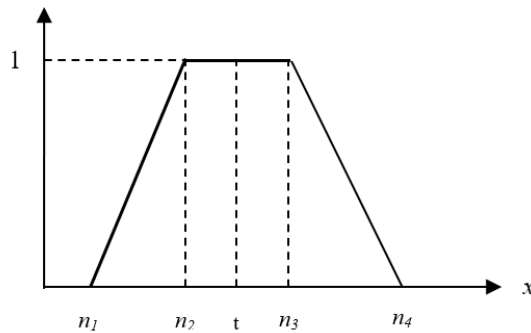
durumlarda yeterli olmayabilir. Karar vericilerin seçimlerini belirtirken arada kalması veya vereceği kararın bir durumu tam olarak temsil etmemesine rağmen yakın olması sık sık rastlanan bir durumdur (Akyüz 2012, 201).

Bulanık küme teorisinde, nesne kümeye aittir veya değildir gibi kesinlik taşıyan ifadeler kullanılmaz. Bunun yerine nesne, üyelik derecesini gösteren değerler ile tanımlanır (Yıldız ve Deveci 2013, 428). Nesne $[1,0]$ arasında bir değer alır ve bu değer nesnenin kümeye aitlik derecesini gösterir. Başka bir tanımla, nesnenin değeri 1'e ne kadar yakınsa nesne kümeye o değer kadar aittir. Nesnenin değeri 0'a ne kadar yakınsa nesne kümeye o değer kadar ait değildir. Eğer nesnenin değeri 0 ise nesne o kümeye ait değildir (Yavuz ve Deveci 2014, 465).

Bulanık küme teorisinde, kesinliği bulunan sayısal değerler yerine sözel ifadeler içeren dilsel değişkenler tercih edilir. Bu dilsel değişkenler bulanık sayılara dönüştürülür ve işlemler bu şekilde yapılır (Akyüz 2012, 201).

Bulanık küme teorisinde nesnenin üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde sayıların yakınlığı kuramından yararlanılır ve bu fonksiyonlar sayıların yakınlığına göre üçgensel üyelik fonksiyonları, yamuksal (trapezoidal) üyelik fonksiyonları gibi fonksiyonlar ile belirtilir (Yıldız 2014, 117). Bu tezde yamuksal (trapezoidal) üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir.

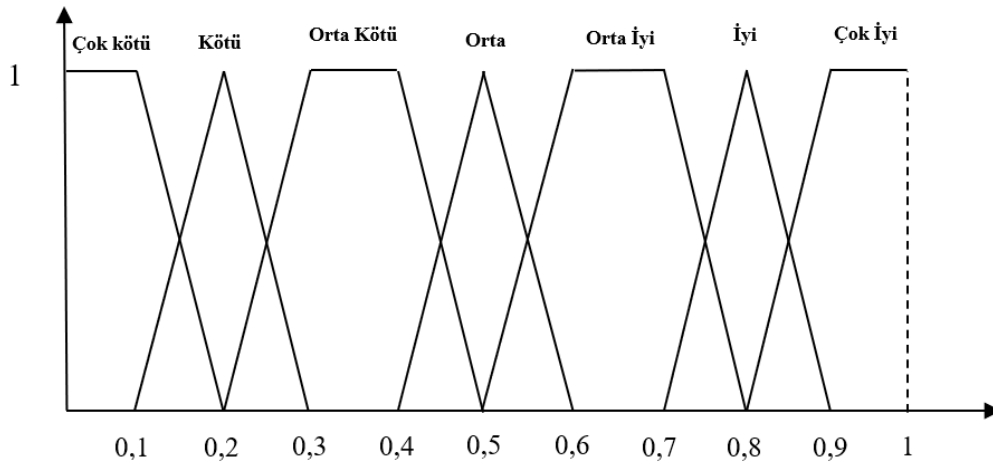
Kaufmann ve Gupta (1991)'e göre bir n bulanık sayısı Şekil 13'deki gibi n_1, n_2, n_3 ve n_4 ile parametre edilen parçalı fonksiyon ile karakterize edilebilir. n trapezoidal bulanık sayısının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır (Çelik 2016, 122):



Şekil 13. n trapezoidal bulanık sayısı (Çelik 2016, 122)

Denklem (5) kullanılarak Şekil 14'deki niteliksel değişkenler, trapezoidal bulanık sayının üyelik fonksiyonu yardımıyla sayısal değişkenlere dönüştürülebilir.

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0 & x < n_1 \\ \frac{x-n_1}{n_2-n_1} & n_1 \leq x \leq n_2 \\ 1 & n_2 \leq x \leq n_3 \\ \frac{x-n_4}{n_3-n_4} & n_3 \leq x \leq n_4 \\ 0 & x > n_4 \end{cases} \quad (5)$$



Şekil 14. Niteliksel değişkenler grafiği (Çelik 2016, 122)

4.3. Bulanık VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi, karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonunu sağlamak için 1998 yılında Opricovic tarafından geliştirilmiştir (Shemshadi , ve diğerleri 2011, 12161). Chu vd. (2007)' göre 2004 yılında ÇKKV uygulamalarının çözülmesinde kullanılmaya başlanan yöntem, kendi arasında çelişen kriterler altında alternatifleri sıralayarak optimum seçimi yapmaya odaklıdır (Türkmen ve Bildik 2015, 5). Opricovic ve Tzeng (2004)'e göre VIKOR yöntemi, 1973 Yu ve 1974 yılında Zeleny tarafından ortaya atılan uzlaştırmacı çözüm kavramı içerisinde bulunan ideal çözüme yakınlık ölçümü temeline dayanan çok kriterli karar sıralama endeksidir (Çakır ve Özdemir 2016, 174).

ÇKKV tekniklerinde kriter ağırlıklarının ve alternatiflerin kesin olarak bilindiği varsayılmaktadır. Ancak gerçek hayatta kesin ifadeler ve bilgileri bulmak zordur hatta bazı durumlarda kesin ve doğru bilgilere ulaşmak mümkün değildir (Yıldız ve Deveci 2013, 430). Kesin bilgiye ulaşamaması gibi durumlarda öznel, belirsiz ve kesin olmayan bilgilerde çözüm sürecinde ele alınmalıdır. Bu bilgileri çözüme dahil etmenin yöntemlerinden biri de dilsel değerlendirmeleri kullanmaktır (Akyüz 2012, 202). Dilsel değerlendirmeleri kullanabilmek için Zadeh (1965) tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi, ÇKKV yöntemleri ile beraber kullanılmaya başlanmış ve bulanık ÇKKV teknikleri geliştirilmiştir (Türkmen ve Bildik 2015, 5). Bulanık mantığın, VIKOR tekniğine uyarlanması ile elde edilen Bulanık VIKOR yöntemi de bu tekniklerden biridir. Chen ve Wang (2009)'a göre bulanık mantığın VIKOR yöntemine uygulanması ile elde edilen Bulanık VIKOR tekniği bulanık karar matrisi değerlerini kullanarak aşağıdaki adımları içeren bir algorithmadan oluşmaktadır (Yıldız ve Deveci 2013, 430):

Adım 1: İlk olarak k değeri kadar karar vericinin bulunduğu karar vericiler komitesi oluşturulur. Devamında n değeri kadar alternatif ve m değeri kadar kriter belirlenir.

Adım 2: Alternatiflerin önem derecesini ve kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılan dilsel değişkenler ve bu dilsel değişkenlerin karşılığı olan bulanık sayılar belirlenir.

Adım 3: w_j^k ifadesi, n sayıda karar vericiden oluşan bir karar verici kümesinde n 'inci karar vericinin değerlendirdiği kriterinin önem ağırlığını göstermektedir. $\tilde{f}_{ij}$ ifadesi ise j kriterine göre i alternatifinin derecesini gösterir. Kriterlerin önem ağırlıkları Denklem (6), kriter bazında alternatiflerin dereceleri ise Denklem (7) kullanılarak, her biri için tek bir değerlendirme olacak şekilde, elde edilen bulanık değerlendirmeler toplanarak n karar verici sayısına bölünüp, kriter ve alternatifler için önem ağırlıkları elde edilir (Gök Kısa ve Perçin 2017, 251).

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{k} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots + \tilde{w}_j^k] \quad (6)$$

$$\tilde{f}_{ij} = \frac{1}{k} [\tilde{f}_{ij}^1 + \tilde{f}_{ij}^2 + \dots + \tilde{f}_{ij}^k] \quad (7)$$

Sözel değişkenler $\tilde{w}_j$ ve $\tilde{f}_{ij}$ bulanık sayı ile ifade edilmiştir.

Adım 4: $\tilde{D}$ bulanık karar matrisi ve $\tilde{W}_j$ kriter ağırlık matrisi Denklem (8)'de gösterildiği gibi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{f}_{11} & \dots & \tilde{f}_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{f}_{i1} & \dots & \tilde{f}_{ij} \end{bmatrix}, \tilde{W}_j = [\tilde{W}_1, \tilde{W}_2, \dots, \tilde{W}_3] \quad (8)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$\tilde{f}_{ij}$, j kriterine göre i alternatifinin derecesini gösterir. $\tilde{W}_j$ ise j kriterinin önem ağırlığıdır.

Adım 5: Tüm kriterlerin en iyi bulanık değerleri Denklem (9), en kötü bulanık değerleri ise Denklem (10) kullanılarak belirlenir. J kriteri, fayda anlamında kullanılan bir değerlendirme kriteri olarak varsayılır ise;

$$\tilde{f}_j^* = \max_j \tilde{f}_{ij} \quad (9)$$

$$\tilde{f}_j^- = \min_j \tilde{f}_{ij} \quad (10)$$

Adım 6: $\tilde{w}_j$ kriterlerin önem ağırlığını temsil etmektedir. $\tilde{S}_i$ değeri tüm kriterlere göre i . alternatifin, en iyi bulanık değere olan uzaklıklarının toplamıdır ve Denklem (11) kullanılarak elde edilir (Yıldız 2014, 119).

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_{ij}^*) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (11)$$

$\tilde{R}_i$ değeri ise j . kriterine göre i alternatifinin bulanık en kötü değere olan maksimum uzaklığıdır ve Denklem (12) kullanılarak elde edilir.

$$\tilde{R}_i = \max_j [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_{ij}^*) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (12)$$

$\tilde{S}_i$ ve $\tilde{R}_i$ değerleri i alternatifinin ortalama ve en kötü değerlerini gösterir (Türkmen ve Bildik 2015, 6).

Adım 7: Bu adımda, maksimum grup faydasını gösteren $\tilde{S}^*$ fonksiyonu Denklem (13), farklı görüştekilerin minimum bireysel pişmanlığını gösteren $\tilde{R}^*$ fonksiyonu Denklem (14) ve grup faydası ile bireysel pişmanlığın birlikte değerlendirilmesi ile hesaplan $\tilde{Q}_i$ indeksi ise Denklem (15)'de gösterilmiştir (Yıldız ve Deveci 2013, 430).

$$\tilde{S}_i^* = \min_i \tilde{S}_i, \tilde{S}_i^- = \max_i \tilde{S}_i \quad (13)$$

$$\tilde{R}_i^* = \min_i \tilde{R}_i, \tilde{R}_i^- = \max_i \tilde{R}_i \quad (14)$$

$$\tilde{Q}_i = v(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*) / (\tilde{S}^- - \tilde{S}^*) + (1-v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*) / (\tilde{R}^- - \tilde{R}^*) \quad (15)$$

v değeri, maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin ağırlığını, $1-v$ değeri ise bireysel pişmanlığın ağırlığını ifade eder. Uzlaşma durumunda $v = 0,5$ alınır (Gök Kısa ve Perçin 2017, 252).

Adım 8: Bulanık sayıların ortalamaları alınarak durulaştırılmış S_i , R_i ve Q_i indeks değerleri bulunur. Elde edilen indeks değerlerine göre indeks değeri en küçük olan alternatif en iyi alternatif olarak gösterilir.

Adım 9: En iyi alternatif olarak belirlenen alternatifin, uzlaştırıcı çözüm olup olmadığı bu adımda kontrol edilir. En iyi uzlaştırıcı çözümü belirlemek için aşağıda bulunan iki koşulun uygunluğu kontrol edilir. Eğer iki koşulda sağlanırsa belirlenen alternatif uzlaştırıcı çözümdür.

1. Koşul Kabul Edilebilir Avantaj: İlk koşul en iyi alternatif ve ona en yakın değere sahip olan ikinci alternatifin arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını içerir ve Denklem (16) kullanılarak gösterilir.

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ \quad (16)$$

$$DQ = \frac{1}{m-1}; m \text{ alternatif sayısını ifade eder.}$$

A' , sıralamada en iyi çözüm olarak kabul edilen alternatifi. A'' ise sıralamada en iyi çözümden sonra en düşük indeks puanını alan alternatifi temsil eder.

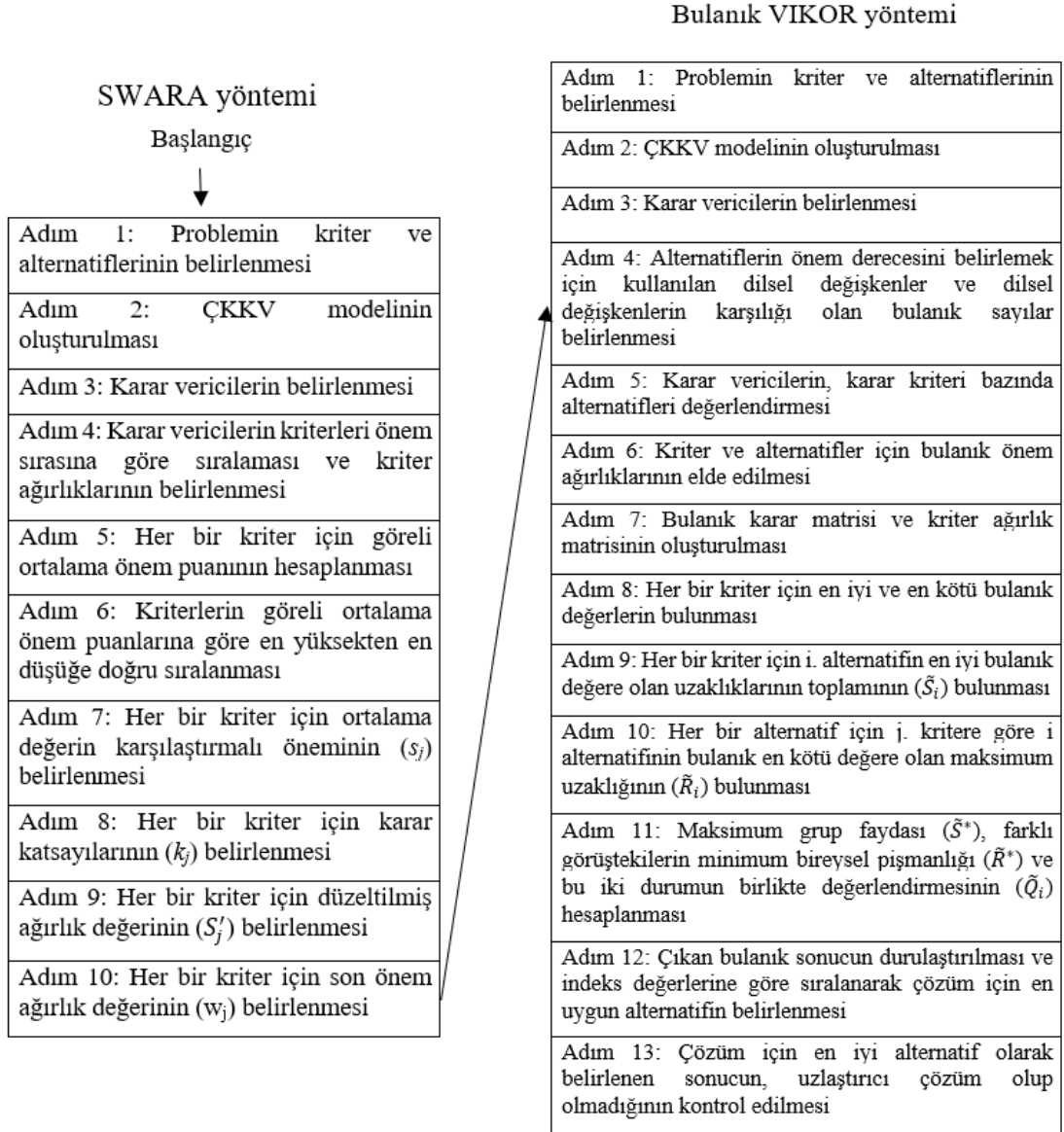
2. Koşul Kabul Edilebilir İstikrar: Opricovic ve Tzeng (2004)'e göre Alternatif A, S ve/veya R değerlerine göre yapılan sıralamadaki en iyi alternatif olmalıdır (Yıldız ve Deveci 2013, 431).

Eğer birinci koşul sağlanmazsa diğer alternatifler dikkate alınarak, $Q(A''') - Q(A') \leq DQ$ ise A''' ve A' aynı uzlaştırmacı çözüm olur.

Eğer ikinci koşul sağlanmazsa Q değeri minimum olan en iyi alternatifin seçimi yapılır.

BEŞİNCİ BÖLÜM UYGULAMA

Bu tez kapsamında, inşaat süreçlerinde oluşan israfların belirlenmesi ve bu israfların ortadan kaldırılması için en uygun yalın tekniklerin değerlendirilmesi problemi kapsamında ÇKKV modeli önerilmiştir. Bu problemi çözmek amacıyla 8 ana kriter, 24 alt kriter ve 5 alternatiften oluşan bir model kurulmuştur. Kurulan model ÇKKV yöntemlerinden olan SWARA ve Bulanık VIKOR teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çözüm metodolojisi Şekil 15’de gösterilmektedir.

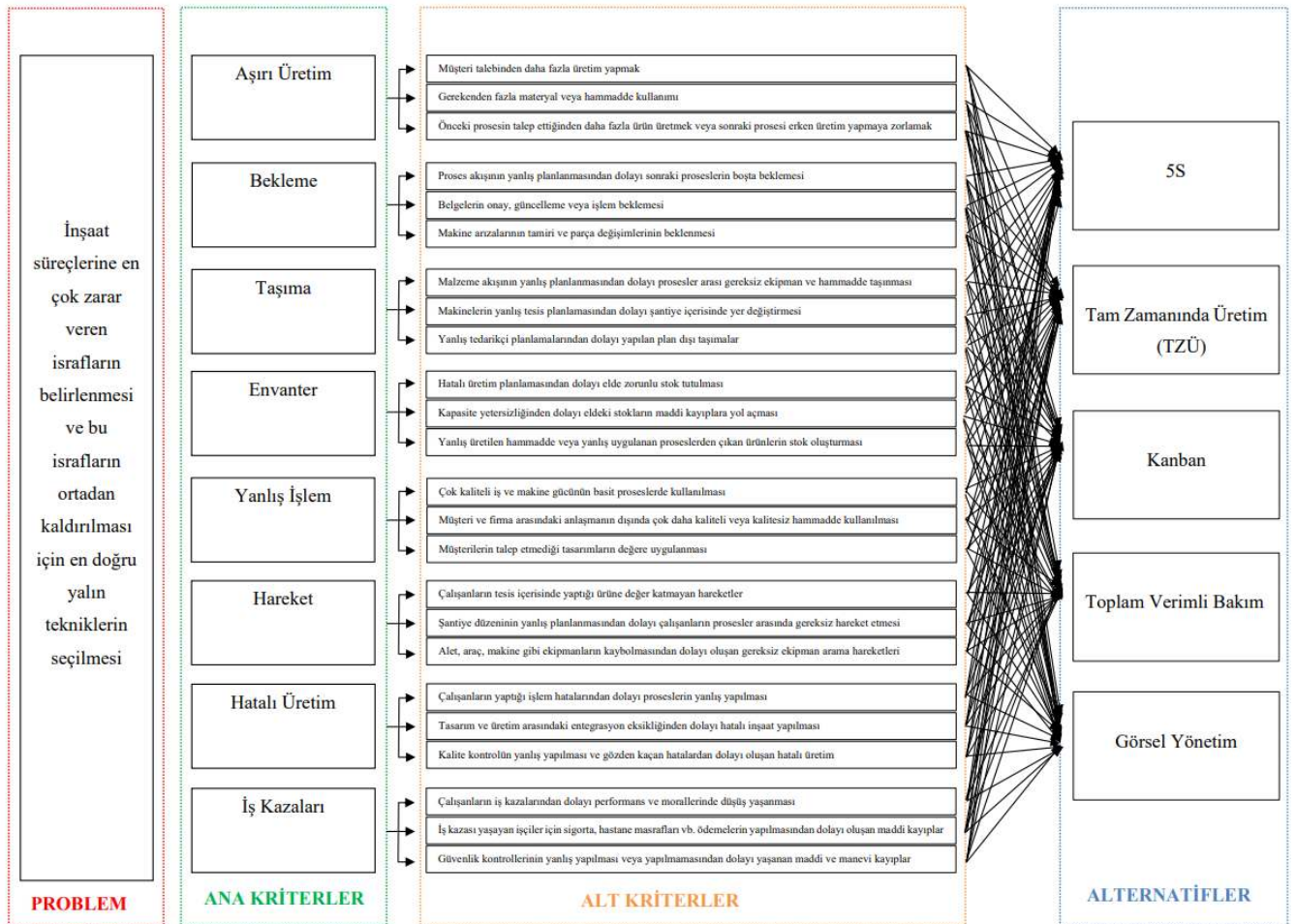


Şekil 15. Çözüm Metodolojisi

5.1. Problemin Tanımlanması

İnşaat sektörü, içerisinde çok fazla israf bulunduran inşaat süreçleri barındırmaktadır. Bu durum maliyetleri her geçen gün arttırarak verimliliği düşürmektedir. Süreçlere en çok zarar veren israfların bulunup doğru tekniklerle ortadan kaldırılması tüm süreçlerde oluşan kayıpları azaltacak ve zincirleme bir şekilde dünya ekonomisinin gelişmesine fayda sağlayacaktır.

Bu tez içerisinde inşaat süreçlerinin yalınlaşmasına yardımcı olmak ve literatüre katkı sağlayabilmek için inşaat süreçlerine en çok zarar veren israfların belirlenmesi ve bu israfların ortadan kaldırılması için en doğru yalın tekniklerin seçilmesi problemi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılacak çok kriterli araştırma modeli problem, ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler olarak Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. Araştırma Modeli

5.2. Karar Kriterlerinin Belirlenmesi

İsrafların belirlenmesi ve ortadan kaldırılması için en doğru alternatiflerin değerlendirilmesi problemi kapsamında model oluşturulurken, küresel inşaat şirketlerinin çalışma şekilleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. İncelemeler sonucunda elde edilen bilgiler ile kapsayıcı kriterlerin belirlenmesi sağlanmıştır. Şekil 16’da kullanılan ana ve alt kriterler küresel inşaat şirketlerinin çalışmalarının incelenmesi ve bu sektörde uzun yıllar boyunca tecrübe kazanmış uzmanların görüşleri neticesinde belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesinde ve kriterler bazında alternatiflerin değerlendirilmesinde görüşü alınan inşaat sektörü uzmanlarının eğitim bilgileri ve iş tecrübeleri Tablo 5’de belirtildiği gibidir.

Tablo 5. Görüşü Alınan Uzmanların Akademik Seviyeleri ve Sektörel tecrübeleri

Uzman	Unvan	İnşaat sektöründeki tecrübe yılı	Eğitim seviyesi
U_1	Jeoloji Mühendisi	12	MSc (Yüksek Lisans seviyesi)
U_2	İnşaat Mühendisi	17	MSc (Yüksek Lisans seviyesi)
U_3	Mimar	20	PhD (Doktora seviyesi)
U_4	İnşaat Mühendisi	12	MSc (Yüksek Lisans seviyesi)
U_5	Endüstri Mühendisi	10	PhD (Doktora seviyesi)

İnşaat süreçlerinin incelenmesi ve uzman görüşlerinin alınması ile belirlenen ana ve alt karar kriterleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1- Aşırı üretim ile ilgili kriterler:

- **Müşteri talebinden daha fazla üretim yapmak (C_1):** Yapılan inşaat süreçlerine veya son üretilen değere müşteri ile yapılan anlaşmanın dışında fazladan değer eklemek olarak tanımlanabilen bu durum ekstra maliyet oluşturmanın yanında hammadde, iş gücü ve zaman kaybına da yol açan bir kriterdir. Ayrıca müşteri kendisinden habersiz olarak eklenen değeri

beğenmeyebilir. Bu durumda müşteri ve üründen elde edilecek karda kayıplara yol açar.

- **Gerekenden fazla materyal veya hammadde kullanımı (C₂):** Herhangi bir inşaat süreci için çoğunlukla bilgisizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan bu problem daha az hammadde ile yapılabilecek bir iş için gereğinden fazla hammadde kullanılması ile oluşur. Bu durum şirkette hammadde ve maddi kayıpların oluşmasına yol açar.
- **Önceki prosesin talep ettiğiinden daha fazla ürün üretmek veya sonraki prosesi erken üretim yapmaya zorlamak (C₃):** Yalınlaşan bir sistemde üretim, önceki prosesin talebine göre yapılır. Önceki prosesin talep ettiğiinden daha fazla ürün üretmek hem önceki prosesin hem de o an ki prosesin gereğinden fazla ürün üretmesine ve gereğinden fazla çalışmasına yol açar. Bu durum maliyet ve stok oluştururken, iş gücü ve zaman gibi kayıplara da yol açar. Aynı şekilde sonraki prosese de gereğinden fazla talepte bulunmak tam zamanında üretim sistemini stok oluşmasına ve yukarıda bahsedilen kayıplara yol açacaktır.

2- Bekleme ile ilgili kriterler:

- **Proses akışının yanlış planlanmasından dolayı sonraki proseslerin boşta beklemesi (C₄):** Üretim planındaki hatalı süreç planlamasından dolayı oluşan bir kriterdir. Süreçlerin üretim yapmak için diğer süreçleri boşta beklemesi o sürecin çalışmaması anlamına gelmektedir. Bu durum şirket için zaman ve iş gücü kaybı oluştururken aynı zamanda işin talep edilen zamanda teslim edilmesini de geciktirecektir.
- **Belgelerin onay, güncelleme veya işlem beklemesi (C₅):** İnşaatın tasarım, şantiye ve teslim aşamaları gibi tüm süreçlerinin beklemesine yol açabilecek bir kriterdir. Belge talep ve teslimlerinin zamanında yapılmaması ve onay beklenmesi, onay gelene kadar yapılan işin durmasına yol açarak zaman kaybı oluşturacaktır.
- **Makine arızalarının tamiri ve parça değişimlerinin beklenmesi (C₆):** Makine bakımlarının doğru veya zamanında yapılmamasından dolayı oluşan arızalar ve parça değişimleri içerisinde bulundukları sürecin durmasına ve

boşta beklemesine yol açar. Bu durum diğer süreçlerin de beklemesine yol açarak tam zamanında üretimi sekteye uğratır.

3- Taşıma ile ilgili kriterler:

- **Malzeme akışının yanlış planlanmasından dolayı prosesler arası gereksiz ekipman ve hammadde taşınması (C₇):** Süreç sırasına göre yapılan üretim planının yanlış olması veya süreçlerde kullanılacak ekipmanların yanlış belirlenmesi gibi nedenlerden dolayı şantiye veya şirket içerisinde malzemelerin sürekli taşınarak gereksiz taşıma israflarının oluşması durumudur. Bu durum iş gücü ve zaman kayıplarına yol açar.
- **Makinelerin yanlış tesis planlamasından dolayı şantiye içerisinde yer değiştirmesi (C₈):** İnşaatlarda kullanılan makineler genelde yer değiştirmesi zor olan büyük ve ağır makinelerdir. Yalınlaşan inşaat süreçlerinde üretim süreci ve tesis planlaması özellikle büyük makinelerin sabit duracağı şekilde yapılmalıdır. Büyük makinelerin sürekli yer değiştirmesi makinelerin bozulmasına yol açabilirken zaman ve iş gücü kaybına da yol açarak maliyet oluşturmaktadır.
- **Yanlış tedarikçi planlamalarından dolayı yapılan plan dışı taşımalar (C₉):** Tedarikçi ve şantiye arasındaki hammadde teslimat planlarının doğru yapılmamasından dolayı şantiyede hammadde stoklarının oluşması ve oluşan stokların şantiyeden depolara taşınması olarak tanımlanan bu kriter zaman ve iş gücü gibi kayıplara yol açmasının yanı sıra stok oluşturduğu için depolama maliyetlerine de yol açmaktadır.

4- Envanter ile ilgili kriterler:

- **Hatalı üretim planlamasından dolayı elde zorunlu stok tutulması (C₁₀):** İnşaat süreçlerinin yanlış planlanmasından dolayı önceki proses için hatalı ürün üretilmesi büyük maddi kayıplara ve hurdalara yol açar. Bu durumların tekrar yaşanmaması için genellikle şantiyelerde emniyet stokları tutulur. Ancak doğru üretim planlamaları ile çalışılması bu stokları ortadan kaldırarak maliyetin düşmesini sağlar.

- **Kapasite yetersizliğinden dolayı eldeki stokların maddi kayıplara yol açması (C_{11}):** Genellikle şantiye yerleşim planlamasının hatalı yapılmasından dolayı oluşan bu kriter, şantiye büyüklüğünün yetersiz olması gibi durumlardan dolayı da oluşabilir. Elde tutulan emniyet veya gereksiz stoklar için ekstra yer kiralanması, depolarda yer olmadığı için şantiye dışında tutulan stokların çalınması, acil yer ihtiyacından dolayı stokların hurdaya çıkarılması veya çok düşük fiyatlara satılması gibi durumlar şirketin maddi kayıplar yaşamasına yol açacaktır.
- **Yanlış üretilen hammadde veya yanlış uygulanan proseslerden çıkan ürünlerin stok oluşturmaması (C_{12}):** Şantiyelerde hatalı ürün üretilmesi büyük maliyetlere yol açmaktadır. Üretilen bu hatalı ürünlerin başka proseslerde veya şantiye dışı değerlendirilmeye çalışılması ise çok sık rastlanan bir durumdur ancak bu ürünler kullanılana kadar elde stok olarak beklemekte ve maliyet oluşturmaktadır.

5- Yanlış işlem ile ilgili kriterler:

- **Çok kaliteli iş ve makine gücünün basit proseslerde kullanılması (C_{13}):** Genellikle bilgisizlik ve tecrübesizlikten dolayı iş veya makine gücü potansiyelini basit bir süreçte harcamak sıkça karşılaşılan bir durumdur ve makinelerin çabuk bozulması veya işin yavaşlaması gibi kayıplara yol açmaktadır.
- **Müşteri ve firma arasındaki anlaşmanın dışında çok daha kaliteli veya kalitesiz hammadde kullanılması (C_{14}):** Güncel hayatta “malzemenin çalma” olarak adlandırılan bu durum kötü niyet durumunun dışında inşaat süreçlerinde gerçekleşen plan dışı durumlardan biridir. Yanlış üretim planlaması ve tecrübesizlikten dolayı ortaya çıkar. Kalitesiz hammadde kullanmak hatalı üretime yol açacağı gibi fazla kaliteli hammadde kullanmak da maddi kayıplara yol açar.
- **Müşterilerin talep etmediği tasarımların değere uygulanması (C_{15}):** Müşterinin talep etmediği veya ücretini ödemeyeceği herhangi bir tasarımın değere uygulanması, özellikle ülkemizde sıkça rastlanan bir durumdur. Yapılan planlamanın dışında bina tasarımına uygulanan reklamlar veya plan dışı

tasarım uygulanması müşterilerin beğenmemesi halinde müşteri kaybına yol açabilir. Ayrıca müşterilerin beğendiği durumda bile yapılan tasarıma ödeme yapılmadığı için şirketin maddi kayıplara uğramasına yol açar.

6- Hareket ile ilgili kriterler:

- **Çalışanların tesis içerisinde yaptığı ürüne değer katmayan hareketler (C₁₆):** Çalışanların tesis içerisinde ve prosesler arasında üretilen ürüne değer katmayan hareketleri zaman ve iş gücü kayıplarına yol açmaktadır.
- **Şantiye düzeninin yanlış planlanmasından dolayı çalışanların prosesler arasında gereksiz hareket etmesi (C₁₇):** Şantiye düzeninin proses sırasına göre planlanmaması, çalışanların bir prosesten diğerine geçmek için şantiye içerisinde hareket etmesinden dolayı zaman kaybına yol açan kriterdir.
- **Alet, araç, makine gibi ekipmanların kaybolmasından dolayı oluşan gereksiz ekipman arama hareketleri (C₁₈):** İnşaat süreçlerinin yapıldığı tüm çalışma alanlarının belirli bir temizlik, düzen ve disiplinde olmamasından dolayı malzeme kayıplarının yaşanması ve çalışanların malzeme arayarak zaman kaybetmesi şirketin maliyetlerinin artmasına yol açar.

7- Hatalı üretim ile ilgili kriterler:

- **Çalışanların yaptığı işlem hatalarından dolayı proseslerin yanlış yapılması (C₁₉):** Genellikle tecrübesiz ve bilgisiz çalışanların yaptığı hatalardan dolayı oluşan ve hatalı proseslerin iyileştirilmesini veya tekrarlanmasını gerektiren kriterdir. Hurda, zaman ve maliyet kaybına yol açar.
- **Tasarım ve üretim arasındaki entegrasyon eksikliğinden dolayı hatalı inşaat yapılması (C₂₀):** Tasarım ve mimari ekibinin yaptığı inşaat tasarımının şantiyelerdeki çalışanlara yanlış aktarılması veya çalışanların tasarımı yanlış anlamasından dolayı hatalı inşaat yapılması durumudur. Büyük maliyet ve zaman kaybına yol açar.
- **Kalite kontrolün yanlış yapılması ve gözden kaçan hatalardan dolayı oluşan hatalı üretim (C₂₁):** Üretilen hatalı ürünlerin veya yapılan hatalı

inşaatın bir sonraki prosese geçerek üretilecek ürünün içinde bulunması durumudur. Fark edilmemesi durumunda müşteri kayıplarına yol açacağı gibi müşterilerin can güvenliğini tehlikeye atabilecek inşaatların müşteriye teslim edilmesine de yol açabilir.

8- İş kazaları ile ilgili kriterler:

- **Çalışanların iş kazalarından dolayı performans ve morallerinde düşüş yaşanması (C22):** Yetersiz iş güvenliği önlemlerinden dolayı çalışanların iş kazası yaşayarak verimlerinin düşmesi iş gücünü önemli derecede etkiler. İş kazası yaşayan işçinin bir süre işe gelmemesi bir iş gücünün eksilmesi zincirleme olarak bütün proseslerin yavaşlamasına yol açabilir.
- **İş kazası yaşayan işçiler için sigorta, hastane masrafları vb. ödemelerin yapılmasından dolayı oluşan maddi kayıplar (C23):** İşçilerin iş kazası yaşamasının engellenememesinden dolayı yaşanan bir durumdur. Bu durum sigorta ödemeleri, hastane ödemeleri veya tazminat ödemeleri gibi şirkete büyük maliyet oluşturabilecek durumlar ortaya çıkartabilir.
- **Güvenlik kontrollerinin yanlış yapılması veya yapılmamasından dolayı yaşanan maddi ve manevi kayıplar (C24):** Yetersiz güvenlik kontrolleri işçilerin sağlık durumunu olumsuz yönde etkileyebilecek iş kazalarının oluşmasına yol açabileceği gibi herhangi bir inşaat sürecinde hırsızlık, gasp, saldırı vb. durumların oluşmasına da yol açabilir. Bu durum maddi ve manevi kayıplara yol açar.

Uzman görüşleri ve inşaatların çalışma şekillerinin incelenmesinin ardından belirlenen kriterler ve bu kriterlerin akademik kaynakları Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Araştırma Modeli Kriterleri ve Kriterlerin Kaynakları

SWARA ve Bulanık VIKOR yöntemleri ile inşaat süreçlerine en çok zarar veren israfların belirlenmesi ve belirlenen israfların ortadan kaldırılması için en uygun yalın üretim tekniklerinin seçilmesi			
Ana Kriterler ve Alt Kriterler			Kaynak
Aşırı Üretim	C_1	Müşteri talebinden daha fazla üretim yapmak	(Ansah, Sorooshian ve Mustafa 2016, 1609), (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 121)
	C_2	Gerekenden fazla materyal veya hammadde kullanımı	(Alarcon 1997, 6), (Aziz ve Hafez 2013, 683)
	C_3	Önceki prosesin talep ettiğinden daha fazla ürün üretmek veya sonraki prosesi erken üretim yapmaya zorlamak	
Bekleme	C_4	Proses akışının yanlış planlanmasından dolayı sonraki proseslerin boşa beklemesi	(Ansah, Sorooshian ve Mustafa 2016, 1609)
	C_5	Belgelerin onay, güncelleme veya işlem beklemesi	(Al-Aomar 2012, 109)
	C_6	Makine arızalarının tamiri ve parça değişimlerinin beklenmesi	
Taşıma	C_7	Malzeme akışının yanlış planlanmasından dolayı prosesler arası gereksiz ekipman ve hammadde taşınması	(Aziz ve Hafez 2013, 683), (Al-Aomar 2012, 109), (Alarcon 1997, 6)
	C_8	Makinelerin yanlış tesis planlamasından dolayı şantiye içerisinde yer değiştirmesi	(Al-Aomar 2012, 109)
	C_9	Yanlış tedarikçi planlamalarından dolayı yapılan plan dışı taşımalar	
Envanter	C_{10}	Hatalı üretim planlamasından dolayı elde zorunlu stok tutulması	(Aziz ve Hafez 2013, 683)
	C_{11}	Kapasite yetersizliğinden dolayı eldeki stokların maddi kayıplara yol açması	(Aziz ve Hafez 2013, 683), (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 122)
	C_{12}	Yanlış üretilen hammadde veya yanlış uygulanan proseslerden çıkan ürünlerin stok oluşturmaları	
Yanlış İşlem	C_{13}	Çok kaliteli iş ve makine gücünün basit proseslerde kullanılması	(Ansah, Sorooshian ve Mustafa 2016, 1609), (Polat ve Ballard 2004, 6)
	C_{14}	Müşteri ve firma arasındaki anlaşmanın dışında çok daha kaliteli veya kalitesiz hammadde kullanılması	(Nikakhtar, ve diğerleri 2015, 465), (Polat ve Ballard 2004, 6)
	C_{15}	Müşterilerin talep etmediği tasarımların değere uygulanması	
Hareket	C_{16}	Çalışanların tesis içerisinde yaptığı ürüne değer katmayan hareketler	(Alarcon 1997, 6), (Al-Aomar 2012, 109)
	C_{17}	Şantiye düzeninin yanlış planlanmasından dolayı çalışanların prosesler arasında gereksiz hareket etmesi	(Alarcon 1997, 6)
	C_{18}	Alet, araç, makine gibi ekipmanların kaybolmasından dolayı oluşan gereksiz ekipman arama hareketleri	
Hatalı Üretim	C_{19}	Çalışanların yaptığı işlem hatalarından dolayı proseslerin yanlış yapılması	(Nikakhtar, ve diğerleri 2015, 465), (Al-Aomar 2012)
	C_{20}	Tasarım ve üretim arasındaki entegrasyon eksikliğinden dolayı hatalı inşaat yapılması	(Ansah, Sorooshian ve Mustafa 2016, 1609), (Polat ve Ballard 2004, 6)
	C_{21}	Kalite kontrolün yanlış yapılması ve gözden kaçan hatalardan dolayı oluşan hatalı üretim	
İş Kazaları	C_{22}	Çalışanların iş kazalarından dolayı performans ve morallerinde düşüş yaşanması	(Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 122)
	C_{23}	İş kazası yaşayan işçiler için sigorta, hastane masrafları vb. ödemelerin yapılmasından dolayı oluşan maddi kayıplar	
	C_{24}	Güvenlik kontrollerinin yanlış yapılması veya yapılmamasından dolayı yaşanan maddi ve manevi kayıplar	(Alarcon 1997, 6), (Bajjou, Chafi ve Ennadi 2017, 122)

5.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

İnşaat sektöründeki büyük maliyet problemleri ve zaman geçtikçe düşmeye devam eden verimlilik sorunları yalın üretim yaklaşımının inşaat sektörüne uygulanması gerekliliğini ortaya çıkartmıştır. Bu nedenden dolayı öncelikle israflar ortaya çıkarılarak görünür hale getirilmeli, sonrasında ise yalın üretim teknikleri ile bu israflar ortadan kaldırılarak yalın bir sistem oluşturulmalıdır. Bu tez kapsamında ele alınan problem, uzmanlar tarafından belirlenen 5 alternatifi değerlendiren bir ÇKKV problemidir. Uzmanlar tarafından problemin çözümü için belirlenen alternatifler açıklamaları ile birlikte aşağıdaki gibidir:

A₁ 5S Tekniği: Çalışma ortamlarının temizlik ve düzenini sağlayarak bu uygulamaların sürekli hale getirilmesini amaçlayan yalın üretim tekniğidir. 5S tekniğinin ilk amacı çalışma ortamını mümkün olduğunca temiz ve düzenli tutarak yapılan her aktivitenin görünür olmasını sağlayacak ferah bir çalışma ortamı oluşturmaktır. 5S tekniği ile amaçlanan başka bir durum ise israfların görünür hale getirilmesidir. Özellikle inşaat süreçlerinde oluşan israflar dağınıklık ve düzensizlik nedeniyle süreçlerin içerisinde kaybolmakta ancak verimi ve performansı düşürmeye devam etmektedir. Bu nedenle 5S tekniği, israfların belirlenerek ortadan kaldırılması için uygulanması gereken en önemli yalın üretim tekniklerinin başında gelmektedir. 5S tekniğini uygulamanın riskleri göz önüne alındığında, inşaat süreçlerinde çok fazla farklı uyruktan çalışan olması, çalışanların eğitim düzeyinin birbirinden farklı olması, aynı anda birçok farklı prosesin uygulanması, çok fazla makine ve aletin farklı proseslerde kullanılma ihtiyacının olması 5S tekniğinin standartlaşmış bir şekilde her gün uygulanmasını zorlaştıran durumlar arasındadır. Her gün mesai saatlerinin bir kısmını 5S tekniğine ayırmak, çalışanların her gün temizlik ve düzen yapmak istememeleri ve bu nedenden dolayı moral ve motivasyonlarının düşmesi 5S tekniğinin dezavantajlı görünen özelliklerindendir.

A₂ Tam Zamanında Üretim: Üretici tarafından müşteri talebinin tam istenen şekilde, tam istenen yerde ve tam istenen zamanda karşılanmasını amaçlayan yalın üretim tekniğidir. Bu teknik inşaat sektöründe, müşteri talebinin belirlenmesi, tedarikçi planlamalarının yapılması ve şantiyedeki proseslerin uygulanması gibi inşaatın her aşamasında kullanılabilecek bir tekniktir. Müşteri taleplerinin şantiyeye

bildirilmesi, şantiye ile tasarım bölümünün birlikte tam zamanlı olarak çalışması ve tedarikçilerin, şantiye tarafından talep edilen hammaddeyi tam zamanında teslim etmesi şeklinde işleyen teknik, son adımda müşterinin istediği inşaatın tam zamanında teslim edilmesi ile sonuçlanır. Proses kısmında ise sonraki prosesin önceki prosese ihtiyacı olan talebi bildirmesi ile önceki proses, sonraki prosesin talep ettiği ürünleri tam zamanında teslim eder. Birbirine bağlı olarak işleyen bu sistemde yapılan inşaat müşteri ile anlaşılan zamanda biter ve teslim edilir. Bu teknik sayesinde elde stok tutulmaz ve planlanan çalışmaya gösterilen uyum sayesinde uzun dönemli planlar yapılarak büyük anlaşmalara imza atılabilir. Bu tekniğin riskleri göz önüne alındığında TZÜ sistemi, sistemde bulunan tüm elemanların bu sisteme göre çalışmasına ihtiyaç duyar. Ancak inşaat süreçlerine etki eden dış etmenlerden dolayı (hava şartları, iş kazaları vb.) inşaatın durdurulması veya gün içerisinde bile bekletilmesi gerekebilir. Ayrıca aynı makinelerin farklı proseslerde kullanılması durumu da plan dışı gelişen bir proses açığında, makinelerin başka proseslere gönderilmesini ve makine eksiği çeken proseslerin yavaşlamasına ve hatta durmasına yol açabilir. İş kazaları da TZÜ sistemini olumsuz etkileyen durumlardan bir tanesidir. İnşaat sektörü için fazla dezavantaj içeren bir sistem olsa da TZÜ sistemini doğru uygulamak ve plan dışı gelişebilecek durumların önceden önüne geçmek inşaat sektörü için çok büyük kazanımlar sağlayacaktır.

A₃ Kanban: Yalın sistemde bulunan tüm elemanların taleplerini, ihtiyaçları doğrultusunda bütün detayları ile önceki prosese iletebileceği bir yalın üretim tekniğidir. Kanban sistemi genellikle TZÜ sisteminin daha iyi çalışması için kullanılır. Ancak TZÜ sisteminin olmadığı durumlarda da Kanban tekniği tercih edilebilir. Kanban yöntemi, inşaat sisteminde bulunan tüm elemanların birbiri ile sorunsuz ve yalın bir şekilde iletişime geçmesini ayrıca sonraki prosesin talep ettiği ürünlere nerede, ne zaman ve ne kadar ihtiyacı olduğunu Kanban kartı adı verilen küçük bir kart ile anlatmasını sağlayan bir araçtır. Kanban sistemi talep iletişimde bulunması gereken bütün prosesler arasında kullanılabilir. İnşaat süreçlerinde Kanban, şirketin müşteri taleplerini çekmesini kolaylaştırır ve talebin tam mükemmellikte anlaşılmasını sağlar. Ayrıca tedarikçi-şantiye, tasarım bölümü-şantiye ve şantiye içerisindeki prosesler gibi üretimin her aşamasında kullanılan Kanban kartları, sonraki prosesin talep ettiği ürün adedini, ürünün çeşidini, teslim edilmesi gereken yeri ve teslim

edilmesi gereken zamanı içeren bilgilerden oluşur. Bu sayede talep edilen her ürün hiçbir yanlış anlaşılma olasılığı olmadan talep edilen yere talep edilen zamanda teslim edilir ve sürekli akışın sağlandığı bir çekme sistemi oluşturulur. Bununla birlikte Kanban sistemi okuma-yazma bilmeyen veya farklı dillerde konuşan işçiler için uygulaması zor bir sistemdir. Ayrıca özensizlikten dolayı Kanban kartlarının doğru teslim edilememesi ve bu nedenden dolayı üretimin durması gibi dezavantajlara sahiptir.

A4 Toplam Verimli Bakım: Makine tamir ve bakımlarının belirlenen rutin aralıklara göre yapılmasını sağlayarak, makine arızalarının önüne geçmeyi ve makinelerin ömrünü uzatmayı amaçlayan yalın üretim tekniğidir. İnşaat süreçlerinde makinelerin yeri çok önemlidir. Süreçlerde boyutları ve ağırlıkları değişen çok fazla makine kullanılmaktadır. Bu makinelerin belirlenen rutin tarihlerde bakımının, parça değişiminin ve tamirinin yapılması makinelerin ömrünü uzatır. Ayrıca yeni makinelerin alınması ile oluşacak makine maliyetlerinin de önüne geçer. Makinelerden dolayı oluşacak iş kazalarını da önlemeyi amaçlayan bu teknik, şantiye içerisinde bozuk veya bozulmak üzere olan makine kalmamasını hedefler. Makinelerin tamirini sık sık yapmak makine kullanan inşaat süreçlerine çok büyük faydalar sağlayacaktır. Ayrıca makinelerden dolayı oluşabilecek bütün maliyetler de bu sayede minimuma indirilecektir. Başka bir açıdan bakacak olursak sürekli farklı proseslerde kullanılan makinelerin çok sık bakıma ihtiyacı olmakta ve bu bakım maliyetleri bazen yeni makine maliyetlerini geçmektedir. Ayrıca çok fazla makine kullanılan inşaat sektöründe sürekli makine bakımı yapmak gereksiz hareket israflarına yol açar. Bu gibi durumlar bu tekniğin dezavantajlarını oluşturur.

A5 Görsel Yönetim: Sistemde yapılan bütün işleri mümkün olduğunca görselleştirerek herkes tarafından anlaşılmasını sağlamayı amaçlayan ayrıca sistemde herhangi bir hata olduğunda sesli ve ışıklı şekilde yetkililere haber veren yalın üretim tekniğidir. Görsel yönetim, görsel olan bütün araçları ve teknikleri içinde bulunduran bir tekniktir. Görsel yönetim, standart iş planları gibi tekniklerle süreçlerde yapılacak işleri özetlemeyi, Poka-Yoke, Andon gibi ışıklı ve sesli cihazlarla üretim hattında hata oluşması durumunda hattı durdurarak yetkililere haber vermeyi, uyarı anlamı taşıyan resim ve tablolar ile iş güvenliğini sağlamayı ayrıca elektronik panolarla üretim

süreçlerinin ilerleme durumunu gösterme gibi amaçları olan çok fonksiyonlu bir tekniktir. İnşaat süreçlerinin özellikle iş güvenliği kısmında görsel yönetim çok sık tercih edilir. Görsel yönetim sayesinde inşaat süreçlerinde oluşabilecek kazalar büyük ölçüde engellenir. Ayrıca görsel yönetim, çalışan tüm bireylerin görsel araçtaki bilgiyi tek bakışta anlamasını sağlar. Bu sayede aynı dili konuşamama veya okuma-yazma bilmeme gibi durumların önüne geçilmiş olur. Görsel panolarda anlatılmak istenen bellidir ve yapılacak iş kısa resimlerle özetlenir. Görsel yönetimin kullanıldığı her noktada verilmek istenen bilgi o süreci kullanacak işçi tarafından rahatlıkla görülebilecek şekilde tasarlanır. İnşaat süreçlerinde görsel yönetim ile iş güvenliği, iş süreçlerinin akışı hızlandıracak şekilde uygulanması, hata durumunda hata olan kısmın durdurularak hatanın olduğu yerde giderilmesi ve sürecin hangi durumda olduğunun rahatça görülebilmesi sağlanır. Öte yandan görsel yönetimin gereğinden fazla kullanılması çalışma alanlarını daraltıp yer kaybına sebep olabilir. Görsel yönetim araçlarının satın alınması şirketin maliyetlerinin artmasına sebep olabilecek tekniğin dezavantajlarından sayılabilir.

5.4. Varsayımlar

Önerilen modelin uygulanma ve değerlendirilme süreçleri için yapılması gereken bazı varsayımlar mevcuttur. Bu varsayımlar, inşaat şirketinde bulunan çalışanların yalın üretim uygulamalarına karşı çıkmaması, şirketin imkanlarının ve tesis büyüklüğünün alternatif olarak belirlenen yalın tekniklerin uygulanması için yeterli olması, alternatifler için yeterli sayıda çalışanın bulunmasıdır. Ayrıca inşaat şirketinin gerekli bütün yasal sorumlulukları karşıladığı ve bütün izinlere sahip olduğu varsayılmaktadır.

5.5. Entegre Çözüm Yönteminin Oluşturulması

Bu tezde inşaat süreçlerine en çok zarar veren israfların belirlenmesi ve ortadan kaldırılması için en doğru yalın tekniğin seçilmesi problemi SWARA ve Bulanık VIKOR yöntemlerinin entegre bir şekilde kullanılmasıyla çözülmektedir. Bu

yöntemde, belirlenmiş olan kriterler SWARA yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Çözüm aşamasının devamında ise alternatif olarak belirlenen yalın teknikler Bulanık VIKOR yöntemi ile değerlendirilmiştir.

5.5.1. Entegre Yöntemin Probleme Uygulanması

SWARA ve Bulanık VIKOR yöntemleri ile oluşturulan çözüm yönteminde ilk olarak inşaat süreçleri için belirlenmiş olan 24 kriter (israf) ağırlıklandırılmış devamında alternatif olarak belirlenen 5 yalın teknik bu kriterler kapsamında değerlendirilmiştir. Bu işlem gerçekleştirilirken aşağıda gösterilen adımlar takip edilmiştir.

1. Adım: İnşaat sektöründe iş tecrübesine sahip 5 uzman, 24 karar kriterini kendi deneyim ve tecrübelerine göre en önemli olandan en önemsiz olana doğru sıralamış, yapılan sıralama Tablo 7’de gösterilmiştir. Devamında uzmanlar sıralanan bu kriterleri tekrar 0.00 ile 1.00 arasında ilk sıralamaya bağlı kalarak puanlamıştır. Bu değerlendirme işlemleri sonucunda Tablo 7’de gösterilen p_j^k değerleri elde edilmiştir.

2. Adım: Her bir kriter için Denklem (1) kullanılarak göreceli ortalama önem puanı (p_j) hesaplanmış ve Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Uzmanların Sıralaması, p_j^k ve p_j değerleri

	Uzmanlar										p_j
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	
C_1	8	6	15	19	4	0,74	0,79	0,50	0,46	0,76	0,650
C_2	6	3	4	7	6	0,79	0,94	0,85	0,74	0,72	0,808
C_3	9	13	6	2	8	0,71	0,60	0,75	0,90	0,68	0,728
C_4	13	12	7	1	9	0,59	0,63	0,73	1,00	0,66	0,722
C_5	19	24	16	4	1	0,43	0,18	0,45	0,82	1,00	0,576
C_6	14	8	9	3	2	0,56	0,76	0,69	0,85	0,80	0,732
C_7	4	18	14	10	23	0,82	0,40	0,56	0,68	0,32	0,556
C_8	5	22	8	8	10	0,80	0,23	0,70	0,72	0,64	0,618
C_9	17	17	18	9	21	0,50	0,48	0,40	0,70	0,38	0,492
C_{10}	20	7	12	18	20	0,41	0,77	0,60	0,48	0,40	0,532
C_{11}	16	16	23	14	17	0,51	0,52	0,25	0,58	0,48	0,468
C_{12}	22	5	13	13	12	0,30	0,83	0,58	0,61	0,60	0,584
C_{13}	3	11	10	12	15	0,85	0,65	0,64	0,63	0,52	0,658
C_{14}	12	9	5	15	11	0,60	0,71	0,82	0,56	0,62	0,662
C_{15}	11	10	24	20	24	0,63	0,68	0,22	0,43	0,30	0,452
C_{16}	24	23	20	11	22	0,25	0,21	0,32	0,66	0,35	0,358
C_{17}	10	19	11	16	14	0,65	0,35	0,63	0,54	0,54	0,542
C_{18}	21	20	19	17	18	0,35	0,29	0,35	0,50	0,45	0,388
C_{19}	2	4	3	6	5	0,91	0,88	0,89	0,75	0,74	0,834
C_{20}	7	2	1	5	3	0,75	0,98	1,00	0,80	0,78	0,862
C_{21}	23	1	2	21	7	0,28	1,00	0,90	0,40	0,70	0,656
C_{22}	18	21	22	24	19	0,45	0,25	0,26	0,30	0,43	0,338
C_{23}	15	15	17	22	16	0,54	0,55	0,43	0,35	0,50	0,474
C_{24}	1	14	21	23	13	1,00	0,59	0,31	0,33	0,58	0,562

3. Adım: Tüm kriterler Tablo 7’de gösterilen (p_j) değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır ve Tablo 8’de gösterilmiştir. Yeni sıralama aşağıdaki gibidir:

$$C_{20} > C_{19} > C_2 > C_6 > C_3 > C_4 > C_{14} > C_{13} > C_{21} > C_1 > C_8 > C_{12} > C_5 > C_{24} > C_7 > C_{17} > C_{10} > C_9 > C_{23} > C_{11} > C_{15} > C_{18} > C_{16} > C_{22}$$

4. Adım: Kriterler göreceli ortalama önem puanına (p_j) göre sıralandıktan sonra her kriter kendisinden bir önceki kriter ile karşılaştırılmış ve tüm kriterler için ortalama değerin karşılaştırmalı önemi (s_j) değeri hesaplanmış ve Tablo 8’de gösterilmiştir.

5. Adım: Her bir kriterin katsayı değeri (k_j) Denklem (2) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 8’de gösterilmiştir.

6. Adım: En yüksek kriterin düzeltilmiş ağırlık (S_j') değeri 1,00 olarak belirlendikten sonra her bir kriter için düzeltilmiş ağırlık değeri (S_j') Denklem (3) kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 8’de gösterilmiştir.

7. **Adım:** Her bir kriter için son önem ağırlık değeri (w_j) Denklem (4) kullanılarak hesaplanmış ve tüm kriterlerin (w_j) değerleri Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Bütün Kriterler için p_j , s_j , k_j , S'_j ve w_j Değerleri

	p_j	s_j	k_j	S'_j	w_j
C_{20}	0,8620	-	1,00	1,00	0,0537
C_{19}	0,8340	0,0280	1,028	0,9728	0,0522
C_2	0,8080	0,0260	1,026	0,9481	0,0509
C_6	0,7320	0,0760	1,076	0,8811	0,0473
C_3	0,7280	0,0040	1,004	0,8776	0,0471
C_4	0,7220	0,0060	1,006	0,8724	0,0468
C_{14}	0,6620	0,0600	1,060	0,8230	0,0442
C_{13}	0,6580	0,0040	1,004	0,8197	0,0440
C_{21}	0,6560	0,0020	1,002	0,8181	0,0439
C_1	0,6500	0,0060	1,006	0,8132	0,0436
C_8	0,6180	0,0320	1,032	0,7880	0,0423
C_{12}	0,5840	0,0340	1,034	0,7621	0,0409
C_5	0,5760	0,0080	1,008	0,7560	0,0406
C_{24}	0,5620	0,0140	1,014	0,7456	0,0400
C_7	0,5560	0,0060	1,006	0,7412	0,0398
C_{17}	0,5420	0,0140	1,014	0,7309	0,0392
C_{10}	0,5320	0,0100	1,010	0,7237	0,0388
C_9	0,4920	0,0400	1,040	0,6959	0,0373
C_{23}	0,4740	0,0180	1,018	0,6836	0,0367
C_{11}	0,4680	0,0060	1,006	0,6795	0,0365
C_{15}	0,4520	0,0160	1,016	0,6688	0,0359
C_{18}	0,3880	0,0640	1,064	0,6285	0,0337
C_{16}	0,3580	0,0300	1,030	0,6102	0,0327
C_{22}	0,3380	0,0200	1,020	0,5983	0,0321

Tablo 8’deki değerlere göre tasarım ve üretim arasındaki entegrasyon eksikliğinden dolayı hatalı inşaat yapılması, çalışanların yaptığı işlem hatalarından dolayı proseslerin yanlış yapılması ve gerekenden fazla materyal veya hammadde kullanımı 24 israf çeşidi içerisinde inşaat süreçlerine zarar veren en önemli israflar olarak belirlenmiştir. Alet, araç, makine gibi ekipmanların kaybolmasından dolayı oluşan gereksiz ekipman arama hareketleri, çalışanların tesis içerisinde yaptığı ürüne değer katmayan hareketler ve çalışanların iş kazalarından dolayı performans ve morallerinde düşüş yaşanması kriterleri ise belirlenen 24 israf çeşidi arasında en önemsiz israflar olmuştur. Tablo 8 tekrar incelendiğinde uzmanlar ana kriter olarak büyük ölçüde hatalı üretimi en önemli ana kriter olarak belirlemiştir. Ana kriterler içerisindeki hareket kriterleri ise en önemsizler içerisinde yer almıştır.

Problem 7. adıma kadar SWARA yöntemi ile çözülmüş ve kriter ağırlıkları (w_j) belirlenmiştir. 8. adımdan itibaren önerilen model için 5 alternatif yalın tekniğin değerlendirilmesi ve sıralanmasında Bulanık VIKOR yöntemi kullanılmıştır.

8. Adım: Uzmanların kriterler bazında alternatifleri değerlendirebilmesi için belirlenen dilsel değişkenler ve bu dilsel değişkenlerin karşılığı olan trapezoidal bulanık sayılar Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. Alternatifleri Değerlendirmek İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler ve Dilsel Değişkenlerin Karşılığı Olan Trapezoidal Bulanık Sayı Değerleri (Ploskas, Papathanasiou ve Tsaples 2017, 9)

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0.0, 0.0, 0.1, 0.2)
Kötü (K)	(0.1, 0.2, 0.2, 0.3)
Orta Kötü (OK)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
Orta (O)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
Orta İyi (OI)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
İyi (İ)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
Çok İyi (Çİ)	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)

9. Adım: Uzmanlar, alternatiflerin her birini tüm kriterler için dilsel değişkenleri kullanarak değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirmeler Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. Uzmanlar Tarafından Alternatiflerin Değerlendirilmesi

		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}
	A_1	ÇK	ÇK	o	K	K	OK	Çİ	K	o	ÇK	o	K	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ
	A_2	Çİ	Çİ	oİ	İ	OK	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	o	o	o	OK	ÇK	ÇK	ÇK	oİ	K	ÇK	ÇK	ÇK
U_1	A_3	İ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	oİ	Çİ	ÇK	ÇK	oİ	K	K	ÇK	ÇK
	A_4	K	OK	ÇK	o	oİ	Çİ	OK	o	OK	ÇK	o	ÇK	ÇK	oİ	ÇK	K	ÇK	ÇK	ÇK	OK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK
	A_5	ÇK	K	K	ÇK	ÇK	K	ÇK	OK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	o	K	Çİ	K	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ
	A_1	ÇK	K	ÇK	o	Çİ	ÇK	ÇK	İ	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	İ	İ	Çİ	oİ	K	İ	Çİ	Çİ	İ
	A_2	Çİ	ÇK	Çİ	İ	K	o	İ	o	o	Çİ	ÇK	Çİ	ÇK	Çİ	Çİ	ÇK	İ	İ	K	o	K	ÇK	ÇK	ÇK
U_2	A_3	İ	K	İ	İ	o	oİ	Çİ	İ	Çİ	oİ	ÇK	İ	ÇK	İ	İ	ÇK	o	o	ÇK	oİ	K	ÇK	ÇK	ÇK
	A_4	ÇK	K	ÇK	Çİ	ÇK	Çİ	ÇK	ÇK	ÇK	K	K	K	K	ÇK	ÇK	ÇK	K	İ	ÇK	oİ	o	o	o	İ
	A_5	ÇK	İ	ÇK	oİ	İ	K	İ	İ	K	o	İ	o	İ	K	o	Çİ	İ	İ	Çİ	o	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ
	A_1	ÇK	ÇK	K	ÇK	İ	İ	K	Çİ	o	o	İ	OK	ÇK	ÇK	ÇK	Çİ	Çİ	Çİ	İ	oİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ
	A_2	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	oİ	ÇK	Çİ	K	OK	OK	OK
U_3	A_3	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	oİ	Çİ	K	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	ÇK	İ	K	Çİ	İ	ÇK	Çİ	Çİ	K	ÇK	ÇK	ÇK
	A_4	ÇK	OK	ÇK	oİ	ÇK	Çİ	OK	oİ	K	ÇK	K	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK
	A_5	oİ	oİ	ÇK	oİ	ÇK	oİ	o	K	İ	ÇK	İ	OK	ÇK	oİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	oİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ
	A_1	OK	OK	K	K	oİ	İ	İ	İ	K	OK	OK	oİ	ÇK	ÇK	ÇK	oİ	İ	Çİ	İ	oİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ
	A_2	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	K	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	ÇK	oİ	Çİ	OK	İ	Çİ	OK	ÇK	K	ÇK
U_4	A_3	Çİ	Çİ	Çİ	oİ	Çİ	Çİ	ÇK	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	oİ	Çİ	Çİ	OK	İ	Çİ	K	ÇK	K	ÇK	ÇK
	A_4	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	Çİ	K	Çİ	ÇK	ÇK	ÇK	OK	ÇK	ÇK	ÇK	ÇK	OK	İ	ÇK	K	İ	oİ	Çİ	Çİ
	A_5	ÇK	K	oİ	K	oİ	İ	İ	İ	OK	o	o	ÇK	İ	ÇK	oİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ
	A_1	OK	K	K	K	İ	oİ	o	İ	K	K	K	oİ	ÇK	ÇK	ÇK	İ	Çİ	Çİ	Çİ	o	İ	Çİ	Çİ	Çİ
	A_2	Çİ	Çİ	İ	İ	oİ	OK	İ	İ	oİ	Çİ	Çİ	İ	İ	OK	oİ	İ	OK	oİ	İ	K	K	K	K	K
U_5	A_3	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	İ	Çİ	oİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	İ	OK	oİ	İ	K	ÇK	ÇK	ÇK
	A_4	ÇK	K	ÇK	İ	K	Çİ	OK	İ	K	ÇK	ÇK	K	ÇK	ÇK	K	ÇK	ÇK	J	o	K	İ	o	İ	İ
	A_5	oİ	OK	o	OK	OK	oİ	oİ	oİ	OK	OK	İ	K	İ	OK	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ

10. Adım: Denklem (7) kullanılarak her bir kriter için kriter bazında alternatiflerin dereceleri ($\tilde{f}_{ij}$) elde edilmiş ve elde edilen bu değerler Tablo 11’de gösterilmiştir.

11. Adım: SWARA yöntemi ile bulunan kriter ağırlıkları (w_j) ve kriter bazında alternatiflerin dereceleri ($\tilde{f}_{ij}$), Denklem (8)’de kullanılarak bulanık karar matrisi ve kriter ağırlık matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matrisler birleştirilerek Tablo 11’de gösterilmiştir.

12. Adım: Tüm kriterlerin en iyi bulanık değerleri ($\tilde{f}_j^*$) Denklem (9), en kötü bulanık değerleri ($\tilde{f}_j^-$) ise Denklem (10) kullanılarak hesaplanmış, elde edilen değerler Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Bulanık Karar Matrisi, Kriter Ağırlıkları Matrisi, En İyi Bulanık Değerler ve En Kötü Bulanık Değerlerin Gösterimi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}
w_i	0,0436	0,0509	0,0471	0,0468	0,0406	0,0473	0,0398	0,0423	0,0373	0,0388	0,0365	0,0409	0,0440	0,0442	0,0359	0,0327	0,0392	0,0337	0,0522	0,0537	0,0439	0,0321	0,0367	0,0400
U_1	0,2250	0,2200	0,2700	0,2700	0,6100	0,4950	0,5000	0,6250	0,3000	0,2750	0,4200	0,3950	0,1000	0,1000	0,1000	0,5750	0,8550	0,9000	0,7800	0,5950	0,8650	0,9000	0,9000	0,8650
U_2	0,9000	0,6200	0,7800	0,8450	0,5650	0,5150	0,8550	0,7500	0,6800	0,9000	0,6200	0,8650	0,5700	0,7300	0,5250	0,5150	0,6000	0,4500	0,3950	0,7250	0,2650	0,2100	0,2200	0,2100
U_3	0,8550	0,6550	0,8450	0,7800	0,7500	0,7650	0,9000	0,5150	0,9000	0,8000	0,6200	0,8550	0,5200	0,8450	0,6050	0,5950	0,7400	0,2900	0,5050	0,7650	0,2000	0,1350	0,1350	0,1000
U_4	0,1350	0,2450	0,1000	0,5450	0,3150	0,9000	0,2600	0,5450	0,2200	0,1000	0,2600	0,1350	0,2200	0,3050	0,1000	0,1450	0,1000	0,2100	0,4850	0,2650	0,3250	0,4550	0,3850	0,5200
U_5	0,3600	0,4450	0,3550	0,3950	0,4000	0,5000	0,5100	0,5300	0,4050	0,3050	0,5250	0,2750	0,5250	0,3500	0,7250	0,6450	0,8650	0,8650	0,9000	0,7500	0,8450	0,9000	0,9000	0,9000
$\tilde{f}_j^+$	0,9000	0,6550	0,8450	0,8450	0,7500	0,9000	0,9000	0,7500	0,9000	0,9000	0,6200	0,8650	0,5700	0,8450	0,7250	0,6450	0,8650	0,9000	0,9000	0,7650	0,8650	0,9000	0,9000	0,9000
$\tilde{f}_j^-$	0,1350	0,2200	0,1000	0,2700	0,3150	0,4950	0,2600	0,5150	0,2200	0,1000	0,2600	0,1350	0,1000	0,1000	0,1000	0,1450	0,1000	0,2100	0,3950	0,2650	0,2000	0,1350	0,1350	0,1000

13. Adım: Her bir kritere göre alternatiflerin en iyi bulanık değere olan uzaklığı Tablo 12’de gösterilmiştir. Ayrıca bu uzaklıkların toplamı olan ($\tilde{S}_i$) değeri Denklem (11) kullanarak hesaplanmış, elde edilen ($\tilde{S}_i$) değerleri de Tablo 12’de gösterilmiştir.

Her bir kritere göre alternatiflerin en kötü bulanık değere olan maksimum uzaklığı olan ($\tilde{R}_i$) değeri ise Denklem (12) kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. Tüm kriterlere göre i . alternatifin en iyi bulanık değere olan uzaklığı, S_i ve R_i değerleri

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
C_1	0,0385	0,0000	0,0026	0,0436	0,0308
C_2	0,0509	0,0041	0,0000	0,0479	0,0246
C_3	0,0363	0,0041	0,0000	0,0471	0,0310
C_4	0,0468	0,0000	0,0053	0,0244	0,0366
C_5	0,0131	0,0173	0,0000	0,0406	0,0326
C_6	0,0473	0,0449	0,0158	0,0000	0,0467
C_7	0,0249	0,0028	0,0000	0,0398	0,0242
C_8	0,0225	0,0000	0,0423	0,0369	0,0396
C_9	0,0329	0,0121	0,0000	0,0373	0,0272
C_{10}	0,0303	0,0000	0,0049	0,0388	0,0289
C_{11}	0,0203	0,0000	0,0000	0,0365	0,0096
C_{12}	0,0263	0,0000	0,0006	0,0409	0,0330
C_{13}	0,0440	0,0000	0,0047	0,0328	0,0042
C_{14}	0,0442	0,0068	0,0000	0,0320	0,0293
C_{15}	0,0359	0,0115	0,0069	0,0359	0,0000
C_{16}	0,0046	0,0085	0,0033	0,0327	0,0000
C_{17}	0,0005	0,0136	0,0064	0,0392	0,0000
C_{18}	0,0000	0,0220	0,0298	0,0337	0,0017
C_{19}	0,0124	0,0522	0,0408	0,0429	0,0000
C_{20}	0,0182	0,0043	0,0000	0,0537	0,0016
C_{21}	0,0000	0,0396	0,0439	0,0356	0,0013
C_{22}	0,0000	0,0290	0,0321	0,0187	0,0000
C_{23}	0,0000	0,0326	0,0367	0,0247	0,0000
C_{24}	0,0018	0,0345	0,0400	0,0190	0,0000
$\tilde{S}_i$	0,5516	0,3398	0,3159	0,8347	0,4030
$\tilde{R}_i$	0,0509	0,0522	0,0439	0,0537	0,0467

14. Adım: $\tilde{Q}_i$ indeksinin hesaplanabilmesi için gereken $\tilde{S}^*$ ve $\tilde{S}^-$ değerleri, Tablo 12'deki $\tilde{S}_i$ değerleri ile Denklem (13) kullanılarak hesaplanmış ve aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\tilde{S}^* = 0,3159$$

$$\tilde{S}^- = 0,8347$$

Yine $\tilde{Q}_i$ indeksinin hesaplanabilmesi için gereken $\tilde{R}^-$ ve $\tilde{R}^*$ değerleri ise Tablo 12'deki $\tilde{R}_i$ değerlerine göre Denklem (14) uygulanarak hesaplanmış ve aşağıdaki değerler elde edilmiştir:

$$\tilde{R}^- = 0,0537$$

$$\tilde{R}^* = 0,0439$$

Son olarak her alternatif için $\tilde{Q}_i$ indeksi Denklem (15) kullanılarak hesaplanmıştır. S_i , R_i ve Q_i indekslerinin değerleri ve alternatiflerin sıralanması Tablo 13’de gösterilmiştir.

Tablo 13. S_i , R_i ve Q_i İndeks Değerleri ve Alternatiflerin Sıralanması

	Q_i		S_i		R_i	
	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra
A_1	0,5845	4	0,5516	4	0,0509	3
A_2	0,4482	3	0,3398	2	0,0522	4
A_3	0,0000	1	0,3159	1	0,0439	1
A_4	1,0000	5	0,8347	5	0,0537	5
A_5	0,2274	2	0,4030	3	0,0467	2

15. Adım: Hesaplanan Q_i indeks değerlerine göre en düşük değere sahip olan A_3 alternatifi en iyi çözümdür. Ancak en iyi uzlaştırmacı çözümü sağlayıp sağlamadığı aşağıdaki iki koşulun uygunluğu ile kontrol edilmiştir.

1. Koşul: Kabul Edilebilir Avantaj: Denklem (16)’ ya göre $0,2274 - 0,0000 \geq 0,25$ koşulu sağlanmalıdır. $0,2274 < 0,25$ olduğu için A_3 alternatifi kabul edilebilir avantaj koşulunu sağlamamaktadır.

2. Koşul: Kabul Edilebilir İstikrar: Tablo 13 incelendiğinde A_3 alternatifinin S_i ve R_i indekslerine göre de birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Böylece alternatif kabul edilebilir istikrar koşulunu sağlamaktadır.

A_3 alternatifi için birinci koşul sağlanamamış sadece ikinci koşul sağlanmıştır. Bu nedenden dolayı $Q(A^m) - Q(A') \leq DQ$ ilişkisi kontrol edilmelidir. $0,2274 - 0,0000 \leq 0,25$ koşulu sağlandığı için A_3 ve A_5 alternatiflerinin her ikisi de uzlaştırmacı çözümlerdir.

SONUÇ

İnşaat sektöründe her geçen gün artan verimsizlik ve maliyet sorunları sektörün gücünü düşürmeye devam etmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde inşaat sektörünün gücünü kaybetmesi yapılan istihdamlardan başlayarak ülke ekonomilerine büyük zarar vermektedir. Ülke ve dünya ekonomilerine büyük katkıda bulunma potansiyeline sahip olan inşaat sektörünün, başta üretim sektörü olmak üzere diğer sektörlerde olduğu gibi çalışma şekillerinin iyileştirilmesine ve geliştirilmesine ihtiyacı vardır.

İnşaat sektörü, ülke ekonomilerine yön verdiği gibi insan hayatına da yön vermektedir. İçerisinde yaşanan binaların daha kaliteli süreçlerden geçerek daha güvenli ve kaliteli inşa edilmesi hem hayati güven olarak hem de müşteri memnuniyeti olarak sektörün güçlenmesine katkı sağlayacaktır. Yaşadığımız hayatın büyük bir çoğunluğunu inşaat sektörü tarafından üretilen yapıların içerisinde geçirdiğimizi düşünürsek, insanlar var oldukça inşaat sektörüne ihtiyaç duymaya devam edecektir. Bu nedenden dolayı inşaat sektörünün sürekli iyileştirilerek verimliliğinin artırılması ve inşaat süreçlerinin mükemmel inşa oluşturma hedefine göre düzenlenip faaliyete geçirilmesi gerekmektedir.

İnşaat sektörünün ihtiyaç duyduğu gelişimi elde edebilmesi için öncelikle inşaat süreçlerinin israflardan arındırılması devamında ise doğru yalın tekniklerle desteklenerek yalın bir inşaat sistemi oluşturulması gerekmektedir. İnşaat sektöründe yalınlaşmanın doğru bir şekilde sağlanması, sektörün her geçen gün artan verimlilik problemlerini ve gereksiz yere oluşan maliyetlerini azaltacaktır. Ayrıca sektörün güçlenmesini sağlayarak dünya ekonomisine yaptığı katkıyı da arttıracaktır.

Bu tezde, inşaat süreçlerine en çok zarar veren israfların belirlenmesi ve ortadan kaldırılması için en uygun yalın tekniklerin seçilmesi problemi ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve Bulanık VIKOR tekniklerinin bir arada kullanması ile çözülmüştür. Uygulanan metodolojinin ilk bölümünde, problemde kullanılan kriterlerin ağırlıkları SWARA tekniği ile hesaplanmıştır. İkinci bölümünde ise

belirlenen kriterler kapsamında, yalın tekniklerden oluşan alternatifler Bulanık VIKOR yöntemi ile değerlendirilerek sıralanmıştır.

Değerlendirmeler sonucunda, inşaat süreçlerine zarar verebilecek 24 kriter içerisinde, tasarım ve üretim arasındaki entegrasyon eksikliğinden dolayı hatalı inşaat yapılması ve çalışanların yaptığı işlem hatalarından dolayı proseslerin yanlış yapılması en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Bu kriterler, hatalı üretim olarak tanımlanan ana kriter kümesinin içinde bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre hatalı ürün üretilmesi inşaat sektörüne en çok zarar veren israf kümesini oluşturmuştur. Öte yandan çalışanların iş kazalarından dolayı performans ve morallerinde düşüş yaşanması ve hareket kriter kümesinin içinde bulunan, çalışanların tesis içerisinde yaptığı ürüne değer katmayan hareketler ve alet, araç, makine gibi ekipmanların kaybolmasından dolayı oluşan gereksiz ekipman arama hareketleri diğer kriterlere göre daha az öneme sahip olan kriterler olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre hareket israflarının inşaat süreçlerinde diğer israflara göre daha az önemli olduğu görülmektedir.

Tüm kriterlerin önem ağırlığı SWARA yöntemi ile hesaplandıktan sonra Bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak alternatifler değerlendirilmiş ve Q_i, R_i ve S_i indeks değerlerine göre çözüm için en uygun alternatiflerin eşit önemde olacak şekilde Kanban ve Görsel Yönetim olduğu belirlenmiştir.

Literatür incelendiğinde inşaatlarda oluşan israfların belirlenmesi ve ortadan kaldırılması için en uygun yalın tekniklerin seçilmesi içeriğine sahip birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak bu tez ile birlikte ilk kez inşaat sektöründeki bir yalın üretim problemine entegre SWARA-Bulanık VIKOR teknikleri uygulanmıştır. Yapılan bu çalışma gelecekte yapılacak yalın üretim, yalın inşaat ve ÇKKV çalışmalarına rehberlik edebilecektir.

Oluşturulan model, inşaat süreçlerinde yalın üretim felsefesini uygulamayı amaçlayan kurum ve araştırmacıların araştırmalarına destek olmak amacıyla geliştirilmiştir. Ayrıca uzmanların meslek çeşitleri ve sayıları arttırılarak modele farklı bakış açılarının katılması ve kriterlerin daha geniş çaplı değerlendirilmesi sağlanabilir. Modelin kriterleri, kriter ağırlıkları ve alternatifleri değiştirilerek önerilen model farklı

sektörlerde kullanılabilir. Entegre olarak kullanılan diğer Bulanık ÇKKV teknikleri ile elde edilebilecek hesaplamalar bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir. Ayrıca önerilen entegre yöntem tedarikçi seçimi, proje seçimi, kuruluş yeri seçimi gibi farklı ÇKKV problemlerine de uyarlanabilir.



KAYNAKÇA

- Adalı, Esra Aytaç, ve Ayşegül Tuş Işık. 2017. «BİR TEDARİKÇİ SEÇİM PROBLEMİ İÇİN SWARA VE WASPAS YÖNTEMLERİNE DAYANAN KARAR VERME YAKLAŞIMI.» *International Review of Economics and Management* 5 (4): 56-77.
- Agrahari, R. S., P. A. Dangle, ve K. V. Chandratre. 2015. «Implementation Of 5S Methodology In The Small Scale Industry: A Case Study.» *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH* 4 (4): 180-187.
- Agustin, Roberto O., ve Fely Santiago. 1996. «Single-Minute Exchange of Die.» *Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*. Cambridge: IEEE/SEMI. 214-217.
- Ağpak, Kürşad, ve Hadi Gökçen. 2002. «BASİT U TİPİ MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİNE BULANIK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI.» *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 29-40.
- Ahlström, Par. 2015. «Jidoka.» *Wiley Encyclopedia of Management* (John Wiley & Sons, Ltd) 1.
- Ajalli, Mehdi, Mohammed Mahdi Mozaffari, ve Rohollah Salahshori. 2019. «Ranking the Suppliers using a Combined SWARA-FVIKOR Approach.» *International Journal of Supply Chain Management* 8 (1): 907-915.
- Akgül, Hakan. 2018. *Yalın Enstitü*. 12 04. Erişildi: 10 28, 2020. <https://lean.org.tr/gorsel-yonetim-gorsel-panolar-ile-iyilestirmek-gelistirmek/>.
- Akıl, Bilgen. 2013. *Kamu Sektöründe 5S ve Kaizen Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Kalite Yönetimi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir: Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Aktar, Adile, ve Osman Akın. 2018. «ALTI SİGMA YAKLAŞIMININ MALİYET YÖNETİM ARACI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA: MANİSA ÖRNEĞİ.» *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute* (32): 19-41.
- Akyüz, Gökhan. 2012. «BULANIK VIKOR YÖNTEMİ İLE TEDARİKÇİ SEÇİMİ .» *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 26 (1): 197-215.
- Akyüz, Nuray Çakırlı, ve Canan Çetin. 2009. «YALIN ORGANİZASYON EKLEMLERİ ve UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA.» *Öneri Dergisi* 8 (32): 1-14.
- Al-Aomar, Raid. 2012. «Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry.» *Lean Construction Journal* 105-121.
- Alarcon, Luis. 1997. *Lean Construction*. CRC Press.
- Allen, Edward, ve Joseph Iano. 2008. *Fundamentals of Building Construction*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Al-Omar, Raid A. 2011. «Applying 5S Lean Technology: An Infrastructure for Continuous Process Improvement.» *World Academy of Science, Engineering and Technology* 1606-1611.
- Ani, Mohd Norzami Che. 2012. «THE EFFECTIVENESS AND IMPACTS OF ONE PIECE FLOW MANUFACTURING TECHNIQUE INTO MANUFACTURING INDUSTRIES.» *3rd International Conference on Engineering and ICT*. Malacca.
- Ansah, Richard Hannis, Shahryar Sorooshian, ve Shariman Bin Mustafa. 2016. «LEAN CONSTRUCTION: AN EFFECTIVE APPROACH FOR PROJECT MANAGEMENT.» *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences* 11 (3): 1607-1612.

- Ansah, Richard Hannis, Shahyar Sorooshian, Shariman Bin Mustafa, ve Gomanth Duvvuru. 2016. «Lean Construction Tools.» *2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Michigan. 784-793.
- Antony, Jiju. 2006. «Six sigma for service processes.» *Business Process Management Journal* 12 (2): 234-248.
- Anvari, Alireza, Yusof Ismail, Seyed Mohammad, ve Hossein Hojjati. 2011. «A Study on Total Quality Management and Lean Manufacturing: Through Lean Thinking Approach.» *World Applied Sciences Journal* 12 (9): 1585-1596.
- Ardahan, Faik. 1992. «GRUP TEKNOLOJİSİ.» *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 267-281.
- Arnett, Dennis B., Debra A. Laverie, ve Charlie McLane. 2002. «Using Job Satisfaction and Pride as Internal-marketing Tools.» *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* 87-96.
- Arunagiri, P., ve A. Gnanavelbabu. 2014. «Identification of Major Lean Production Waste in Automobile Industries using Weighted Average Method.» Düzenleyen: M. Anthony Xavier ve Prasad KDV Yarlagadda. *12th GLOBAL CONGRESS ON MANUFACTURING AND MANAGEMENT*. Science Direct. 2167 – 2175.
- Atmaca, Ediz. 2002. «Grup Teknolojisi Hücrelerinin Tasarımı ve Amaç Programlama Yaklaşımının Uygulanması.» *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 7 (2): 285-298.
- Attanasio, Francesco. 2018. [www.medium.com/. 6 10. Erişildi: 10 28, 2020.](https://medium.com/@leanscrummaster/one-point-lesson-8021b99289da)
[https://medium.com/@leanscrummaster/one-point-lesson-8021b99289da.](https://medium.com/@leanscrummaster/one-point-lesson-8021b99289da)
- Ayçın, Ejder. 2016. *YALIN ÜRETİM UYGULAMALARINDA İSRAFIN AZALTILMASI İLE PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN VE ETKİLEŞİMİN ANALİZİ*. Doktora Tezi, İşletme, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 156.

- Aydın, Hakan. 2009. *YALIN ÜRETİM SİSTEMİ, DEĞER AKIŞ HARİTALAMA YÖNTEMİ VE YALIN ÜRETİM SİSTEMİNİN ÇALIŞANLARA ETKİLERİ*. Yüksek Lisans Tezi, ULUSLARARASI KALİTE YÖNETİMİ BİLİM DALI, MARMARA ÜNİVERSİTESİ, İstanbul: MARMARA ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ, 253.
- Aydın, Mustafa Seçkin, Hüseyin Şenkayas, ve ., 2019. «LOJİSTİK DIŞ KAYNAK SEÇİMİNİ ETKİLEYEN KRİTERLERİN SWARA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: AYDIN GIDA İHRACATÇILARI ÜZERİNE BİR UYGULAMA.» *TURAN-SAM Uluslararası Bilimsel Hakemli Dergisi* 11 (44): 290.
- Aziz, Remon Fayek, ve Sherif Mohamed Hafez. 2013. «Applying lean thinking in construction and performance improvement.» *Alexandria Engineering Journal* 52: 679-695.
- Babalola, Oluwatosin, Eziyi O. Ibem, ve Isidore C. Ezema. 2019. «Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review.» *Building and Environment* 148: 34-43.
- Bajjou, M. S., A. Chafi, A. Ennadi, ve M. El Hammoumi. 2017. «The Practical Relationships between Lean Construction Tools and Sustainable Development: A literature review.» *Journal of Engineering Science and Technology Review* 170-177.
- Bajjou, Mohamed Saad, Anas Chafi, ve Abdelali Ennadi. 2017. «A Comparative Study between Lean Construction and the Traditional Production System.» *International Journal of Engineering Research in Africa* 29: 118-132.
- Bajjou, Mohamed Saad, Anas Chafi, ve Abdelali Ennadi. 2017. «The Potential Effectiveness of Lean Construction Tools in Promoting Safety on Construction Sites.» *International Journal of Engineering Research in Africa* 179-193.

- Ballard, Glen Herman. 2000. *THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL*. Doktora Tezi, Philosophy, The University of Birmingham, Birmingham: Faculty of Engineering .
- Barın, İsmail. 2008. *Tam Zamanında Üretim Sisteminin Tanıtımı ve Bazı Ülkelerdeki Uygulamalarının İncelenmesi*. Erişildi: 11 06, 2020. <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/B23.pdf>.
- Bashir, Abubakar M., Subashini Suresh, David Proverbs, ve Rod Gamescon. 2011. «A Critical, Theoretical, Review of the Impacts of Lean Construction Tools in Reducing Accidents on Construction Sites.» *Association of Researchers in Construction Management ARCOM*. 249-258.
- Bayers, P. C. 1994. «Using Poka Yoke (Mistake Proofing Devices) to Ensure Quality.» *Applied Power Electronics Conference and Exposition* . IEEE. 201-204.
- Berger, Anders. 1997. «Continuous improvement and kaizen: standardization and organizational designs.» *Integrated Manufacturing Systems* 8 (2): 110-117.
- Bevilacqua, M., F. E. Ciarapica, G. Mazzuto, ve C. Paciarotti. 2013. «Visual Management implementation and evaluation through mental workload analysis.» *IFAC Proceedings Volumes* 294-299.
- Bırakmaz, Özkan. 2013. *Yalın Üretimin Uygulanmasında Karşılaşılan Problemler*. Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara: Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bıyık, Tuğrul. 2020. *KOSGEB DESTEĞİ İLE İŞ KURAN GİRİŞİMCİLERİN KARŞILAŞTIKLARI PROBLEMLERİN SWARA YÖNTEMİ İLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ: Aydın İlinde Bir Uygulama*. Doktora Tezi, İşletme Ana Bilim Dalı, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın: Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Blanchard, Benjamin S. 1997. «An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment.» *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 3 (2): 69-80.

- Bonney, M. C., Zongmao Zhang, M. A. Head, C. C. Tien, ve R. J. Barson. 1999. «Are push and pull systems really so different?» *International Journal of Production Economics* 59 (1-3): 53-64.
- Bonney, Maurice. 2000. «REFLECTIONS ON PRODUCTION PLANNING AND CONTROL (PPC).» *Gestao & Producao* 7 (3): 181-207.
- Breyfogle, Forrest W. 2007. «BPM Analysis, Opinion and Insight.» *BPTrends*. 6 3. Erişildi: 11 6, 2020. <https://www.bptrends.com/lean-tools-that-improve-processes-an-overview/>.
- Brown, Charles B., Terry R. Collins, ve Edward L. McCombs. 2006. «Transformation From Batch to Lean Manufacturing: The Performance Issues.» *Engineering Management Journal* 18 (2): 3-14.
- Bullington, Kimball E. 2003. «5S for Suppliers How this technique can help you maintain.» *Quality Progress* 56-59.
- Burlikowska, M. Dudek, ve D. Szewieczek. 2009. «The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process.» *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 95-102.
- Chan, F. T. S., H. C. W. Lau, R. W. L. Ip, H. K. Chan, ve S. Kong. 2005. «Implementation of total productive maintenance:A case study.» *Int. J. Production Economics* 95: 71-94.
- Chan, F.T. S. 2001. «Effect of Kanban size on just-in-time manufacturing systems.» *Journal of Materials Processing Technology* 116: 146-160.
- Chang, Tsung Han. 2014. «Fuzzy VIKOR method: A case study of the hospital service evaluation in Taiwan.» *Information Sciences* 1-17.
- Chapman, Christopher D. 2005. «Clean House With Lean 5S.» *QUALITY PROGRESS* 27-32.

- Chen, Jose Chiu, ve Chan Yang Cheng. 2018. «Solving social loafing phenomenon through Lean-Kanban.» *Journal of Organizational Change Management* 984-1000.
- Chen, Qian, Georg Reichard, ve Yvan Beliveau. 2007. «Interface management-a facilitator of lean construction and agile project management.» *15th IGLC Conference*. 57-66.
- Chikhalikar, Pratik, ve Suman Sharma. 2015. «IMPLEMENTATION OF LEAN MANUFACTURING IN AN ENGINE MANUFACTURING UNIT—A REVIEW.» *Internatioal Journal of Mechanical Engineering and Robotic Research* 4 (1): 404-419.
- Christensen, L. 1996. «JIT sensitive distribution - cutting waste and serving the customer.» *Logistics Information Management* 9 (2): 7-9.
- Cimorelli, Steve. 2005. *Kanban for the Supply Chain: Fundamental Practices for Manufacturing*. CRC Press.
- Corona, Erika, ve Filippo Eros Pani. 2013. «A Review of Lean-Kanban Approaches in the Software Development .» *WSEAS TRANSACTIONS on INFORMATION SCIENCE and APPLICATIONS* 10 (1): 1-13.
- Costa, Claudio, Luis P. Ferreira, Jose C. Sa, ve F. J. G. Silva. 2018. «IMPLEMENTATION OF 5S METHODOLOGY IN A METALWORKING COMPANY.» *DAAAM International Scientific Book* 1-12.
- Çakır, Engin. 2018. «Bütünleşik SWARA ve EDAS yöntemi kullanarak fitness merkezlerinin değerlendirilmesi: Örnek bir uygulama.» *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 11 (3): 1907-1923.
- Çakır, Engin. 2011. *YALIN ALTI SİGMA VE BİR UYGULAMA*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir: Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Çakır, Engin, ve Muhsin Özdemir. 2016. «Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Altı Sigma Projeleri Seçiminde Uygulanması.» *Business and Economics Research Journal* 7 (2): 167-201.
- Çelik, Yıldray. 2016. «Genelleştirilmiş Trapezoidal Bulanık Esnek Kümeler ve Karar Verme Problemlerinde Uygulanması.» *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 6 (1): 121-129.
- Çevik, Aslı Batı. 2004. *TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE YALIN ÜRETİM UYGULANMASI*. Yüksek Lisans Projesi, İşletme Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 71.
- Çömez, Murat. 2019. *YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ İLE İMAL EDİLEN MALZEMELERİN ARTIKLARI İLE ÜRETİLEN GRANÜLLERDEN ELDE EDİLEN YENİ PLA FİLAMANTİNİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ*. Yüksek Lisans Tezi, MALZEME BİLİMİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI, ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ, ALANYA: FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ.
- Dağcı, Ayşegül. 2019. *SAĞLIK SEKTÖRÜNDE YALIN ÜRETİM UYGULAMASI: TOKAT İLİNDE BİR DEVLET HASTANESİ ÖRNEĞİ*. Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat: Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Darmawan, Heru, Sawarni Hasibuan, ve Humiras Hardi Purba. 2018. «Application of Kaizen Concept with 8 Steps PDCA to Reduce in Line Defect at Pasting Process: A Case Study in Automotive Battery.» *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering* 4 (8): 97-107.
- Dave, Pranav Y. 2020. «The History of Lean Manufacturing by the view of Toyota-Ford.» *International Journal of Scientific & Engineering Research* 11 (2): 1598-1602.
- Demir, Fatih. 2009. *YALIN ÜRETİMDE TOPLAM ÜRETKEN BAKIM VE HIZLI KALIP DEĞİŞTİRME (SMED) UYGULAMASI*. Yüksek Lisans Tezi, İşletme

Anabilim Dalı, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İstanbul: Gebze Yüksek Teknoloji Sosyal Bilimler Enstitüsü, 125.

Desai, Mukesh Shyamkant, ve A. M. Rawani. 2017. «PRODUCTIVITY IMPROVEMENT OF SHAPING DIVISION OF AN AUTOMOBILE INDUSTRY BY USING SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) METHODOLOGY.» *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 2615-2629.

Dhafr, Nasreddin, Munir Ahmad, Brian Burgess, ve Siva Canagassababady. 2006. «Improvement of quality performance in manufacturing organizations by minimization of production defects.» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 22: 536–542.

Duman, Burak. 2019. *ASANSÖR MONTAJINDA YALIN ÜRETİM UYGULAMASI VE DEĞER AKIŞ HARİTALAMASI*. Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya: Fen Bilimleri Enstitüsü.

Eaidgah, Youness, Alireza Arab Maki, Kylie Kurczewski, ve Amir Abdekhodae. 2016. «Visual management, performance management and continuous improvement: a lean manufacturing approach.» *International Journal of Lean Six Sigma* 7 (2): 187-210.

Engelund, Eva Hoy, Gitte Breum, ve Alan Friis. 2009. «Optimisation of large-scale food production using Lean Manufacturing principles.» *Journal of Foodservice* 20: 4-14.

Enshassi, Adnan, ve Mohammed Abu Zaiter. 2014. «IMPLEMENTATION OF LEAN TOOLS ON SAFETY IN CONSTRUCTION PROJECTS IN PALESTINE.» *IGLC-22*. Oslo. 1205-1218.

Ergüneş, Erdoğan. 2014. *Gemi İnşaatında Yalın Üretim ve Değer Akışı Haritalaması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze: Sosyal Bilimler Fakültesi.

- Erkek, Seyida. 2008. *YALIN ÜRETİM ANLAYIŞI*. Araştırma Raporu, Konya: KONYA TİCARET ODASI Etüt Araştırma Servisi , 1-12.
- Erlandson, Robert F., Michael J. Noblett, ve Judith A. Phelps. 1998. «Impact of a Poka-Yoke Device on Job Performance of Individuals with Cognitive Impairments.» *IEEE TRANSACTIONS ON REHABILITATION ENGINEERING* 6 (3): 269-276.
- Everett, Robert J., ve Amrik S. Sohal. 1991. «Individual Involvement and Intervention in Quality Improvement Programmes: Using the Andon System.» *International Journal of Quality & Reliability Management* 21-34.
- Falkowski, Pawel, ve Przemyslaw Kitowski. 2013. «The 5S methodology as a tool for improving organization of production.» *Interdisciplinary Journal* 127-133.
- Feng, Peter P., ve Glenn Ballard. 2008. «STANDARD WORK FROM A LEAN THEORY PERSPECTIVE .» *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 1-10.
- Filip, F. C., ve V. Marascu-Klein. 2015. «The 5S lean method as a tool of industrial management performances.» *Modern Technologies in Industrial Engineering*. IOP Publishing. 1-6.
- Fisher, Michael. 1999. «Process improvement by poka-yoke.» *Work Study* 48 (7): 264-266.
- Flinchbaugh, Jamie . 2012. *A3 Problem Solving: Applying*. LeanPub.
- Fukukawa, Tadaaki, ve Sung Chan Hong. 1993. «THE DETERMINATION OF THE OPTIMAL NUMBER OF KANBANS IN A JUST-IN-TIME PRODUCTION SYSTEM .» *Computers & Industrial Engineering Journal* 24 (4): 551-559.
- Gapp, Rod, Ron Fisher, ve Kaoru Kobayashi. 2008. «Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system.» *Management Decision* (Emerald Group Publishing Limited) 46 (4): 565-579.

- Garnett, Naomi, Daniel T. Jones, ve Simon Murray. 1998. «STRATEGIC APPLICATION OF LEAN THINKING.» *International Group for Lean Construction*. Guaruja / Brezilya.
- Gerger, Atakan. 2019. «ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ.» *İzmir Democracy University Social Sciences Journal* (İzmir Demokrasi Üniversitesi) 17.
- Girubha, R. Jeya, ve S. Vinodh. 2012. «Application of fuzzy VIKOR and environmental impact analysis for material selection of an automotive component.» *Materials and Design* 37: 478-486.
- Gök Kısa, Ayşe Cansu, ve Selçuk Perçin. 2017. «Bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR Yaklaşımının Makine Seçimi Problemine Uygulanması.» *Journal of Yasar University* 12 (48): 249-256.
- Greene, Timothy J., ve Randall P. Sadowski. 1984. «A Review of Cellular Manufacturing Assumptions, Advantages and Design Techniques.» *JOURNAL OF OPERATIONS MANAGEMENT* 4 (2): 85-97.
- Gupta, Shaman, ve Sanjiv Kumar Jain. 2013. «A literature review of lean manufacturing.» *International Journal of Management Science and Engineering Management* 8 (4): 241–249.
- Gupta, Surendra M., Yousef A. Y. Al-Turki, ve Ronald Perry. 1999. «Flexible kanban system.» *International Journal of Operations & Production Management* 19 (10): 1065-1093.
- Haque, Badr, ve James Moore Mike. 2004. «Applying lean thinking to new product introduction.» *Journal of Engineering Design* 1-31.
- Harman, Steven R. 1997. *IMPLEMENTATION OF LEAN MANUFACTURING AND ONE-PIECE FLOW AT ALLIEDSIGNAL AEROSPACE*. Master Thesis, Master of Science in Mechanical Engineering and Management, Massachusetts: Massachusetts Institue of Technology.

- Hasan, Zahid, ve Abir Dutta. 2017. «Personal Skill development by Applying ‘KAIZEN’: An Experimental Case Study.» *Asian Journal of Mathematical Sciences* 1 (6): 234-240.
- Herron, Colin, ve Christian Hicks. 2008. «The transfer of selected lean manufacturing techniques from Japanese automotive manufacturing into general manufacturing (UK) through change agents.» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 24: 524–531.
- Hicks, B. J. 2007. «Lean information management: Understanding and eliminating waste.» *International Journal of Information Management* 27: 233–249.
- Holweg, Matthias. 2007. «The genealogy of lean production.» *Journal of Operations Management* 25 (2): 420-437.
- Hong, Jae Dong, ve Jack C. Hayya. 1992. «Just-In-Time purchasing: Single or multiple sourcing? .» *International Journal of Production Economics* 27 (2): 175-181.
- Hüttmeir, Andreas, Suzanne de Treville, Ann van Ackere, Leonard Monnier, ve Johann Prenninger. 2009. «Trading off between heijunka and just-in-sequence.» *International Journal of Production Economics* 501-507.
- İnce, Utku. 2018. *TEKSTİL SEKTÖRÜNDE DEĞER AKIŞI HARİTALAMA UYGULAMASI*. Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği, T.C İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul: T.C İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ireland, F., ve B. G. Dale. 2001. «A study of total productive maintenance implementation.» *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 7 (3): 183-191.
- Ismail, Siti Zuraida Bt. 2013. *DESIGN AND DEVELOPMENT OF ANDON SYSTEM FOR MACHINING MACHINE AT FKP LAB*. Lisans Tezi, Manufacturing Engineering, UNIVERSITI MALAYSIA PAHANG, Faculty of Manufacturing Engineering.

- İşler, Meral, ve Mücella Güner. 2014. «HEIJUNKA TECHNIQUE FROM LEAN PRODUCTION TOOLS AND ITS APPAREL APPLICATIONS .» *XIIIth International Izmir Textile and Apparel Symposium*. İzmir: Ege University. 353-356.
- Jaca, Carmen, Elisabeth Viles, Daniel Jurburg, ve Martin Tanco. 2014. «Do companies with greater deployment of participation systems use Visual Management more extensively? An exploratory study.» *International Journal of Production Research* 1755-1770.
- Jacobson, Gregory H., Nicole Streiff McCain, Richard Lescalette, Stephan Russ, ve Corey M. Slovis. 2009. «Kaizen: A Method of Process Improvement in the Emergency Department.» *Academic Emergency Medicine* 16 (12): 1341-1349.
- Johnson, Corinne N. 2016. «Best Of Back To Basics: The Benefits Of PDCA Use This Cycle For Continual Process Improvement.» *Quality Progress* 49 (1): 120.
- Jyothi, Veerapaneni Esther, ve K. Nageswara Rao. 2012. «Effective Implementation of Agile Practices – Incoordination with Lean Kanban.» *International Journal on Computer Science and Engineering* 4 (1): 87-91.
- Kant, Rajeev, L. N. Pattanaik, ve Vijay Pandey. 2015. «FRAMEWORK FOR STRATEGIC IMPLEMENTATION OF CELLULAR MANUFACTURING IN LEAN PRODUCTION ENVIRONMENT.» *Journal of Manufacturing Technology Research* 178-191.
- Kaşıkcı, Mustafa Kaan. 2015. *GEMİ İNŞAATI SEKTÖRÜNDE YALIN ÜRETİM OLGUNLUK DÜZEYİ ANALİZİ*. Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 129.
- Kaya, Tekiner, Kıvanç Aydın, ve Özgür Sevinç. 2012. «HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMLERİ KAPSAMINDA U TİPİ ÜRETİM HATLARI VE BİR BENZETİM UYGULAMASI.» *Üretim Araştırmaları Sempozyumu*. İzmir:

Gediz Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü & Üretim Araştırmaları Derneği . 13.

Kehr, Thomas W., ve Michael D. Proctor. 2016. «People Pillars: Re-structuring the Toyota Production System (TPS) House Based on Inadequacies Revealed During the Automotive Recall Crisis.» *Quality and Reliability Engineering International* 33 (4): 921-930.

Kemalbay, Volkan. 2012. *TEKLİ DAKİKALARDA KALIP DEĞİŞTİRME ZEKİ KARAR DESTEK SİSTEMİ VE TEKSTİL SEKTÖRÜNDE UYGULAMASI*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 121.

Keršulienė, Violeta, Edmundas Kazimieras Zavadskas, ve Zenonas Turskis. 2010. «SELECTION OF RATIONAL DISPUTE RESOLUTION METHOD BY APPLYING NEW STEP-WISE WEIGHT ASSESSMENT RATIO ANALYSIS (SWARA).» *Journal of Business Economics and Management* 11 (2): 243-258.

Kesit, Nermin. 2019. *YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ VE İMALAT SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMASI*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği, İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ, İstanbul: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

Khlat, Marianne, Atef H. Harb, ve Abdallah Kassem. 2014. «Lean Manufacturing: Implementation and assessment in the Lebanese Pharmaceutical Industry .» *Int. Journal of Computing and Optimization* 1 (2): 47-62.

Kijne, H. J. 1996. «TIME AND MOTION STUDY: BEYOND THE TAYLOR - GILBRETH CONTROVERSY.» *Scientific management Frederick Winslow Taylor's Gift to the World?* içinde, yazar J. C. Spender ve Hugo J. Kijne, 63-92. Kluwer Academic Publishers.

- Kılıç, Alper. 2016. *OTOMOTİV YAN SANAYİNDE YALIN ÜRETİM UYGULAMASI*. Onaylanmamış Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul: Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıç, Alper, ve Berk Ayvaz. 2016. «TÜRKİYE OTOMOTİV YAN SANAYİNDE YALIN ÜRETİM UYGULAMASI.» *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 29-60.
- Ko, Chien-Ho, ve Neng-Fu Chung. 2014. «Lean Design Process.» *Journal of Construction Engineering & Management* 140 (6): 1-11.
- Koskela, Lauri. 2000. *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT Publications.
- Koskela, Lauri. 1992. *Application of The New Production Philosophy to Construction*. Teknik Rapor #72, Stanford University, Stanford: CIFE.
- KPMG. 2018. «İnşaat.» *Sektörel Bakış* 1-29.
- Kwak, Young Hoon, ve Frank T. Anbari. 2006. «Benefits, obstacles, and future of six sigma approach.» *Technovation* 26: 708-715.
- Lai, Nai Yeen Gavin, Kok Hoong Wong, Dunant Halim, Jiawa Lu, ve Hooi Siang Kang. 2019. «Industry 4.0 Enhanced Lean Manufacturing.» *8th International Conference on Industrial Technology and Management*. Cambridge: IEEE. 206-211.
- Liu, Chen Hu, Jian Xin You, Xiao Yue You, ve Meng Meng Shan. 2014. «A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method.» *Applied Soft Computing* 1-10.
- Love, Peter E. D., Zahir Irani, ve David J. Edwards. 2003. «Learning to Reduce Rework in Projects: Analysis of Firm's Organizational Learning and Quality Practices.» *Project Management Journal* 34 (3): 13-25.

- Lozano, J, J. C. Saenz-Diez, E. Martinez, E. Jimenez, ve J. Blanco. 2017. «Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED.» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 3607–3618.
- Ma, Xi-qiang, Shuai Dong, Wei Ma, Yu-jun Xue, ve Ji-shun Li. 2017. «Design of a Metronome Based on the Idea of "ANDON".» *Second International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering*. IEEE. 79-82.
- Marton, Michal, ve Iveta Paulova. 2013. «One piece flow-another view on production flow in the next continuous process improvement.» *Slovak University of Technology Bratislava* 30-35.
- Matsui, Yoshiki. 2007. «An empirical analysis of just-in-time production in Japanese manufacturing companies.» *International Journal of Production Economics* 108: 153-164.
- McKone, Kathleen E., Roger G. Schroeder, ve Kristy O. Cua. 1999. «Total productive maintenance: a contextual view.» *Journal of Operations Management* 17: 123-144.
- Micietova, Maria. 2011. «LEAN PRODUCTION, LEAN VS. MASS PRODUCTION, TPM AS A TOOL OF LEAN PRODUCTION.» *Perner's Contacts* 6 (4): 210-216.
- Miltenburg, John. 2001. «U-shaped production lines: A review of theory and practice.» *International Journal of Production Economics* 201-204.
- Modrak, Vladimir. 2009. «Case on Manufacturing Cell Formation Using Production Flow Analysis.» *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering* 3 (1): 29-33.
- Nadworny, Milton J. 1957. «Frederick Taylor and Frank Gilbreth: Competition in Scientific.» *Business History Review* 31 (1): 23-34.

- Nahmens, Isabelina, ve Laura H. Ikuma. 2012. «Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding.» *JOURNAL OF ARCHITECTURAL ENGINEERING* 155-163.
- Negi, Preetam Singh, Akash Mandaliya, Abhijit Mahida, Alap Patel, ve Vishal Singh Patyal. 2017. «Six Sigma in construction industry: a review.» *Productivity and Quality Management* 22 (4): 451-465.
- Nikakhtar, Amin, Alireza Abbasian Hosseini, Kuan Yew Wong, ve Amir Zavichi. 2015. «Application of lean construction principles to reduce construction process waste using computer simulation: a case study.» *Int. J. Services and Operations Management* 20 (4): 461-480.
- Nuwer, Micheal. 1988. «From Batch to Flow: Production Technology and Work-Force Skills in the Steel Industry, 1880-1920.» *Technology and Culture* 29 (4): 808-838.
- Oduoza, C. F. 2008. «LEAN THINKING CONSTRAINTS IN TRADITIONAL BATCH MANUFACTURING ENVIRONMENTS.» *Advances in Production Engineering & Management Journal* 181-192.
- Ohno, Taiichi. 1978. *Toyota Production System on Audio Tape: Beyond Large Scale Production*. Japan: CRC Press.
- . 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Japan: CRC Press.
- Oliveira, J., J. C. Sa, ve A. Fernandes. 2017. «Continuous improvement through "Lean Tools": An application in a mechanical company.» *Procedia Manufacturing* 1082-1089.
- Omogbai, Oleghe, ve Konstantinos Salonitis. 2017. «The implementation of 5S lean tool using system dynamics approach.» *Procedia CIRP* 380-385.
- Oprovic, Serafim. 2011. «Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning.» *Expert Systems with Applications* 38 (10): 12983-12990.

- Ortiz, Chris A. 2010. *Visual Controls: Applying Visual Management to the Factory*. Düzenleyen: Murry Park. New York: Productivity Press.
- Öğünç, Harun, ve Ercüment Doğru. 2017. «Kaizen Felsefesi ile Toplam Kalite Yönetiminin Verimlilik ve Maliyet Üzerine Etkisi.» *Alanya Academic Review Journal* 1 (1): 1-13.
- Ölçücüoğlu, Kamile. 1995. *Kaizen ve Toplam Kalite*. Yüksek Lisans Tezi, Organizasyon ve İşletme Politikası, İstanbul Üniversitesi, İstanbul: Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Palmer, Vincent S. 2001. «Inventory Management Kaizen.» *Proceedings 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology*. IEEE. 55-56.
- Panahi, Somayeh, Ahmad Khakzad, ve Peyman Afzal. 2017. «Application of stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) for copper prospectivity mapping in the Anarak region, central Iran.» *Arabian Journal of Geosciences* 10 (22): 1-17.
- Parry, G. C., ve C. E. Turner. 2006. «Application of lean visual process management tools.» Düzenleyen: Taylor ve Francis. *Production Planning & Control: The Management of Operations* 77-86.
- Pavnaskar, S. J., J. K. Gershenson, ve A. B. Jambekar. 2003. «Classification scheme for lean manufacturing tools.» *International Journal of Production Research* 41 (13): 3075-3090.
- Pellegrini, Silvia, Devdas Shetty, ve Louis Manzione. 2012. «Study and Implementation of Single Minute Exchange of Die (SMED) Methodology in a Setup Reduction Kaizen.» *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. University of Hatford. 2353-2363.
- Pellicer, Eugenio, Fernando Cervero, Alicia Lozano, ve Jose Luis Ponz-Tienda. 2015. «THE LAST PLANNER SYSTEM OF CONSTRUCTION PLANNING AND CONTROL AS A TEACHING AND LEARNING TOOL.» *Proceedings of*

INTED2015 Conference. Madrid: Universitat Politecnica de Valencia. 4877-4883.

Philips Jr., William Weller. 2003. *Jidoka for Product Development of Electronic Modules for Automotive Applications*. System Design and Management Program, Massachusetts Institute of Technology, Master of Science in Engineering and Management.

Ploskas, Nikolaos, Jason Papathanasiou, ve Georgios Tsaples. 2017. «Implementation of an extended fuzzy VIKOR method based on triangular and trapezoidal fuzzy linguistic variables and alternative defuzzification techniques.» *Decision Support Systems VII. Data, Information and Knowledge Visualization in Decision Support Systems: Third International Conference, ICDSST 2017, Namur, Belgium, May 29-31, 2017, Proceedings* içinde, yazar Isabelle Linden, Shaofeng Liu ve Christian Colot, 165-178. Springer.

Polat, Gül, ve Glenn Ballard. 2004. «Waste in Turkish Construction: Need for Lean Construction Techniques.» *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Helsingor. 1-14.

Prashar, Anupama. 2014. «Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality.» *International Journal of Productivity* 63 (1): 103-126.

Prosic, Slobodan. 2011. «Kaizen Management Philosophy.» *International Symposium Engineering Management And Competitiveness*. Zrenjanin. 173-178.

Pyzdek, Thomas. 2003. «The Six Sigma Revolution.» *Estados Unidos: Mcgraw-hill* 1-7.

Radovic, Dunja, ve Zeljko Stevic. 2018. «EVALUATION AND SELECTION OF KPI IN TRANSPORT USING SWARA METHOD.» *TRANSPORT & LOGISTICS: the International Journal* 60-68.

Red Bull. 2019. *Red Bull Web Sitesi*. 20 11. Erişildi: 10 18, 2020. <https://www.redbull.com/tr-tr/red-bull-pit-stop->

- Seçkin, Funda. 2007. *YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ VE KOBİ'LERDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir: Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sevimli, Alper. 2005. *YALIN ÜRETİMDE ÇALIŞMA GRUPLARININ ETKİNLİĞİ VE FORD-OTOSAN İNÖNÜ FABRİKASINDA BİR UYGULAMA*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir: Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Sezen, Bülent, ve Sema Erdoğan. 2009. «Lean Philosophy in Strategic Supply Chain Management and Value Creating.» *Journal of Global Strategic Management* 3 (1): 68-73.
- Sezgin, Aslı Göksun Şat, ve Ahmet Aşarkaya. 2017. «İNŞAAT SEKTÖRÜ.» İktisadi Araştırmalar Bölümü, Türkiye İş Bankası, İstanbul.
- Shah, Rachna, ve Peter T. Ward. 2003. «Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance.» *Journal of Operations Management* 21: 129–149.
- Shakeri, Iqbal, Khashayar Asadi Boroujeni, ve Homan Hassani. 2015. «LEAN CONSTRUCTION: FROM THEORY TO PRACTICE.» *INTERNATIONAL JOURNAL of ACADEMIC RESEARCH* 129-135.
- Shemshadi , Ali, Hossein Shirazi , Mehran Toreihi, ve M. J. Tarokh. 2011. «A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting.» *Expert Systems with Applications* 38: 12160-12167.
- Shinde, Dinesh B., ve Prashant N. Shende. 2014. «Improvement of Plant Layout by using 5S technique-An industrial case study.» *International JournalOf Modern Engineering Research* 4 (2): 141-146.
- Shingo, Shigeo. 1985. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge: Productivity Press.

- Simoës, Andreia, ve Alexandra Tenera. 2010. «Improving setup time in a Press Line – Application of the SMED methodology .» *MANAGEMENT AND CONTROL OF PRODUCTION AND LOGISTICS. IFAC CONFERENCE*. Coimbra: Elsevier Science Direct. 297-302.
- Singh, Arashdeep, ve Inderpreet Singh Ahuja. 2015. «Review of 5S methodology and its contributions towards manufacturing performance.» *Int. J. Process Management and Benchmarking* 5 (4): 408-424.
- Singh, Jagzeep, ve Harwinzer Singh. 2009. «Kaizen Philosophy: A Review of Literature.» *The Icfai University Press* 8 (2): 51-72.
- Sivaslı, Emre. 2006. *İşletme Süreçlerinde Yalın Tekniklerin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Toplam Kalite Yönetimi Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir: Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Sternberg, Henrik, Gunnar Stefansson, Emma Westernberg, Rikard Boije Gennas, Erik Allenström, ve Malin Linger Nauska. 2012. «Applying a lean approach to identify waste in motor carrier operations.» *International Journal of Productivity and Performance Management* 62 (1): 47-65.
- Suarez-Barraza, Manuel F., Juan Ramis-Pujol, ve Laoucine Kerbache. 2011. «Thoughts on kaizen and its evolution.» *International Journal of Lean Six Sigma* 2 (4): 288-308.
- Suarez-Barraza, Manuel F., Tricia Smith, ve Su Mi Dahlgaard-Park. 2009. «Lean-kaizen public service: an empirical approach in Spanish local governments.» *The TQM Journal* 21 (2): 143-167.
- Sugimori, Y., K. Kusunoki, F. Cho, ve S. Uchikawa. 1977. «Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system.» *International Journal of Production Research* 15 (6): 553-564.
- Sullivan, William G., Thomas N. McDonald, ve Eileen M. Van Aken. 2002. «Equipment replacement decisions and lean manufacturing.» *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 18: 255–265.

- Sun, Shili. 2011. «The Strategic Role of Lean Production in SOE's Development.» *International Journal of Business and Management* 6 (2): 160-168.
- Szmelter, Agnieszka. 2012. «Jidoka as an example of Kaizen techniques of minimizing the logistics costs of mass production companies.» *Research Journal of the University of Gdansk* 46: 149-158.
- Şeker, Arzu. 2016. «YALIN ÜRETİM SİSTEMİNDE KANBAN, TEK PARÇA AKIŞI VE U TİPİ YERLEŞTİRME SİSTEMLERİ.» *The Journal of Academic Social Science Studies* 449-470.
- Şen, Volkan. 2017. *YALIN MUHASEBE UYGULAMALARI VE İŞLETMELERDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ: Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- T.C Hazine ve Maliye Bakanlığı. 2020. *Aylık Ekonomik Göstergeler*. Gösterge Raporu, Ankara: T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı Matbaası.
- Taghavi, Fatemeh, Jurgite Antucheviciene, ve Seyyed Aria Yaghobian. 2019. «Assessment of Universities' and Higher Education Centres' Preparedness for Successful Establishment of Enterprise Resource Planning Based on SWARA Method.» *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics* 30 (4): 496–506.
- Tanabe, Masaru. 1992. «Making JIT Work at NCR Japan.» *Long Range Planning* 37-42.
- Tcmit. 1994. *Chronological Record of Sakichi Toyoda's life*. Erişildi: 11 16, 2020. <https://www.tcmit.org/english/reading/history/sakiti/>.
- Tezel, Algan, Lauri Koskela, ve Patricia Tzortzopoulos. 2009. «The Functions of Visual Management.» *International Research Symposium*. Salford: University of Huddersfield. 18.

- Tezel, Algan, ve Zeeshan Aziz. 2017. «Visual management in highways construction and maintenance in England.» *Engineering, Construction and Architectural Management* 486-513.
- Tokat, Alper. 2015. *TÜRK YAPIM ŞANTİYELERİNDEKİ İSRAFLARIN VE NEDENLERİNİN TESPİT EDİLMESİ VE YALIN İNŞAAT UYGULAMALARIYLA ÇÖZÜM ÖNERİSİ GELİŞTİRİLMESİ*. Yüksek Lisans Tezi, Proje ve Yapım Yönetimi Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul: Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tommelein, Iris D. 2008. «‘POKA YOKE’OR QUALITY BY MISTAKE PROOFING DESIGN AND CONSTRUCTION SYSTEMS.» *Proceedings IGLC-16*. 195-205.
- Türkan, Özay Umut. 2010. «Üretimde Yalın Dönüşümün Temel Performans Kriterleri.» *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi* 12 (2): 28-41.
- Türkmen, Mevhibe Ay, ve Tamer Bildik. 2015. «ŞEHİRLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞINDA BULANIK VİKOR UYGULAMASI.» *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi* 4 (2): 1-15.
- Ulutas, Berna. 2011. «An application of SMED Methodology.» *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 1194-1197.
- Vargün, Hakan. 2009. «Tam Zamanında Üretim Modeline Göre Maliyetlerin İzlenebilirliği.» *Journal of Accounting & Finance* 251-263.
- Wagner, I. 2020. *Leading carmakers worldwide - global brand market share 2019*. 27 02. Erişildi: 11 16, 2020. <https://www.statista.com/statistics/316786/global-market-share-of-the-leading-automakers/>.
- Wang, Dong Sheng, ve An Zhou Li. 2013. «A Case Study on One-Piece-Flow Production Mode Designing.» *International Asia Conference on Industrial*

Engineering and Management Innovation. Springer Berlin Heidelberg. 373-380.

Wang, Peng Sen, Taho Yang, ve Min Chih Chang. 2017. «Effective layout designs for the Shojinka control problem for a TFT-LCD module assembly line.» *Journal of Manufacturing Systems* 255-269.

Wittenberg, G. 1994. «Kaizen—The many ways of getting better.» *Assembly Automation* 14 (4): 12-17.

Womack, James P., Daniel T. Jones, ve Daniel Roos. 1990. *The Machine That Changed the World*. Free Press.

Womack, James P., ve Daniel T. Jones. 1996. *Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Taylor & Francis.

Womack, James P., ve Daniel T. Jones. 2003. «Lean Thinking Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation Preface to the 2003 Edition.» *Lean Thinking Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* içinde, yazar James P. Womack ve Jones T. Daniel, 1-8. New York: NY: Free Press Simon & Schuster.

Yalçıntaş, Yağmur. 2015. *Geleneksel Yaklaşım ve Yalın Üretim Yaklaşımı ile Üretim Planlamanın Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı, Yaşar Üniversitesi, İzmir: Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Yamashita, Kazuhiro. 2004. «IMPLEMENTATION OF LEAN MANUFACTURING PROCESS TO XYZ COMPANY IN MINNEAPOLIS AREA.» Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Management Technology , University of Wisconsin-Stout , Wisconsin.

Yang, Kai, ve Basem S. El-Halík. 2003. *Design for Six Sigma*. McGraw Hill Professional, 2003.

- Yavuz, Selahattin, ve Muhammet Deveci. 2014. «Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçimi ve Bir Uygulama.» *Ege Akademik Bakış* 14 (3): 463-479.
- Yıldız, Ayşe. 2014. «Bulanık VIKOR Yöntemini Kullanarak Proje Seçim Sürecinin İncelenmesi.» *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 115-127.
- Yıldız, Ayşe, ve Muhammet Deveci. 2013. «Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci.» *Ege Akademik Bakış* 13 (4): 427-436.
- Yıldız, Mehmet, Mehmet Pek, Umut Uysal, Doğu Kılıç, ve Müge Metin. 2014. «MOBİL HİDROLİKTE YALIN ÜRETİM VE YALIN ÜRETİME HİZMET EDEN ARAÇLAR.» *ULUSLARARASI KATILIMLI VII. ULUSAL HİDROLİK PNÖMATİK KONGRESİ*. İstanbul: Makine Mühendisleri Odası. 727-741.
- Yılmaz, Ömer Faruk. 2020. «Attaining flexibility in seru production system by means of Shojinka: An optimization model and solution approaches.» *Computers & Operations Research* (Elsevier) 1-20.
- Zerenler, Muammer, ve Kazım Karaboğa. 2014. «Müşteri Memnuniyetinin Sağlanmasında Hataların Önlenmesine Yönelik Üretim Odaklı Bir Bakış Açısı: Poka-Yoke Sistemleri.» *Journal of Institute of Social Sciences* 263-275.
- Zolfani, Sarfaraz Hashemkhani, Edmundas Kazimieras Zavadskas, ve Zenonas Turskis. 2013. «Design of Products with Both International and Local Perspectives based on Yin-Yang Balance Theory and Swara Method.» *Economic Research* 26 (2): 153-166.
- Zolfani, Sarfaraz Hashemkhani, Jalil Salimi, Reza Maknoon, ve Kildiene Simona. 2015. «Technology Foresight About R&D Projects Selection; Application of SWARA Method at the Policy Making Level.» *Inžinerine Ekonomika-Engineering Economics* 26 (5): 571-580.
- Zolfani, Sarfaraz Hashemkhani, Morteza Yazdani, ve Edmundas Kazimieras Zavadskas. 2018. «An extended stepwise weight assessment ratio analysis

(SWARA) method for improving criteria prioritization process.» *Soft Comput* 7399–7405.

Zolfani, Sarfaraz Hashemkhani, ve Jonas Saparauskas. 2013. «New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System.» *Inžinerine Ekonomika-Engineering Economics* 24 (5): 408-414.



ÖZGEÇMİŞ

Kaan Şenol, 15.10.1994 yılında İstanbul’da doğdu. 2017 yılında Beykent Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2018 yılında Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisansa başladı. 2018 yılından beri kendi işinde çalışıyor.

Kaan ŞENOL

